

Restauration écologique des milieux littoraux et marins

Hippolyte GILANTE

Master II MOBIE - Université de Perpignan Via Domitia

Année 2020/2021

ENCADRÉ PAR

Maïa Akopian et
Isabelle Gailhard-
Rocher

CO-ENCADRÉ PAR

Anne Vivier

STRUCTURE D'ACCEUIL

OFB - SME - DRAS

Quai Eric Tabarly
29200 Brest

UNIVERSITÉ
PERPIGNAN
VIA
DOMITIA



Remerciements

Dans un premier temps je souhaite remercier Isabelle GAILHARD-ROCHER, et Maïa AKOPIAN, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage. Leur encadrement, leur patience et leurs conseils m'ont été précieux, et m'ont apporté beaucoup. Je leurs suis également très reconnaissant pour le temps investi dans les diverses corrections et relectures du rapport qui m'ont permis de me cadrer dans mon travail.

Je remercie Anne VIVIER, qui a co-encadré ce stage, grâce à son support, sa générosité, ses conseils et sa grande connaissance de la thématique de la restauration écologique des milieux aquatique. Son savoir-faire nous a permis d'éviter de nombreux écueils.

Je remercie l'équipe de la DRAS de l'OFB, et tout particulièrement Bénédicte AUGÉARD. L'accueil qui m'a été réservé au sein de la structure, à Brest mais également à Vincennes ont été exemplaires et chaleureux. Je leurs suis également reconnaissant pour m'avoir invité à plusieurs reprises à partager leurs réunions pour avoir une idée des projets menés actuellement au sein de l'équipe.

Je remercie Monsieur Michel PELTIER, délégué mer, pour son accueil au sein de l'OFB, ainsi que pour la qualité des locaux et « services » mis à disposition des stagiaires, qui nous ont permis d'évoluer dans des conditions très agréables.

Je remercie également Cécile CAPDERREY du BRGM, pour son aide et ses travaux qui m'ont éclairé, ainsi que le GIP Seine-Aval.

Je souhaite remercier les agents des Délégations de Façades Maritimes pour m'avoir permis de toucher un large panel d'acteur dans ma démarche. Mesdames Gwenola DE ROTON, Laure DUPÉCHAUD, Sophie PONCET, Laure VERNEYRE et Messieurs Christophe AULERT et Frédéric VILLERS, en particulier, qui m'ont grandement éclairé dans ma démarche.

Je remercie les équipes du projet LIFE MarHa, LIFE Adapto et LIFE Artisan, notamment Mesdames Anahita MARZIN, et Marianne DEBUE ainsi que Messieurs Alain PIBOT, Cyril ROUSSEL, Yorick REYJOL. Les réunions à leurs côtés ont été riches en informations.

Je remercie les représentants des PNM, ainsi que Cécile LEFEUVRE et Colas BOUDET qui m'ont permis de participer à certaines réunions très intéressantes et pour avoir une idée des attentes des PNMS concernant la restauration écologique.

Je remercie l'ensemble des participants à mon questionnaire et notamment ceux qui ont pu me faire part de leurs retour d'expérience concernant les actions de restauration écologiques. Leur participation a été essentielle pour ce travail, et les discussions qui en sont nées m'ont beaucoup appris.

Mes remerciements vont également à Doriane IBARRA, directrice de la bibliothèque La Pérouse. Son aide fut extrêmement précieuse pour la réalisation de la synthèse bibliographique en m'autorisant à accéder à leurs magnifiques locaux et plateforme de recherche.

Je remercie Delphine JUNG et Emmanuelle JUILLET du Centre de Ressource Génie Écologique pour m'avoir invité à collaborer à la marinsation du CDR. Travailler à leurs côtés était fort agréable.

Je tiens également à remercier tous les agents de l'OFB basés sur Brest pour leur générosité et leurs sourires.

Enfin je tiens à remercier mes collègues stagiaires présents à mes côtés durant ce stage : Dominique ARNAUDON ma future voisine, Malaurie CHEMIN la stagiaire partie trop tôt, et enfin Guilhem GRIZAUD l'homme aux milles bureaux, pour tous ces bons moments qui, dans le contexte sanitaire actuel, ont été essentiels.

Table des matières

Remerciements.....	1
Introduction	4
Contexte	5
Matériel et méthodes.....	7
I) Synthèse bibliographique	7
I-1) Objectif de la synthèse bibliographique.....	7
I-2) Types de contenu étudiés.....	8
I-3) Recherche documentaire	8
II) Acquisition de données de retour d'expérience.....	9
II-1) Stratégie	9
II-2) Création d'un questionnaire, d'une fiche « retour d'expérience » détaillée, et ébauche de la plateforme.....	9
II-3) Contact des acteurs de la restauration écologique des milieux littoraux et marins	10
II-4) Réalisation des retours d'expérience.....	11
III) Traitement et analyse des données RETEX	12
III-1) Cartographie des opérations de restauration écologique des milieux littoraux et marins recensées.....	12
III-2) Description des données RETEX	12
III-3) Traitement et analyses des données RETEX	13
Résultats	14
I) Données brutes	14
II) Cartographie.....	14
III) Autres données	14
IV) Analyses statistiques	14
IV-1) Généralités.....	14
IV-2) Chronologie.....	16
IV-3) Type de restauration et habitats restaurés	17
IV-4) Pressions et types d'habitats restaurés	18
IV-5) Financements de la restauration de la restauration écologique	19
IV-6) Suivi de la restauration écologique	19
Discussion	23
Conclusion.....	32
Bibliographie	33
Annexe.....	38

Introduction

Depuis toujours, l'homme est dépendant des zones littorales et marines. Cette dépendance est due à la grande productivité biologique des écosystèmes marins, côtiers et de transition entre terre et mer (estuaires, lagunes, deltas) (Duarte et al. 2013). Ces écosystèmes sont à la fois le siège et la résultante de processus bio-géochimiques, hydrologiques, et écologiques nombreux et complexes. La zone littorale et les milieux à l'interface terre-mer abritent notamment des écosystèmes extrêmement riches et au rôle fonctionnel essentiel, siège d'activités croissantes au fur et à mesure de l'histoire de l'homme moderne, qui a investi toujours davantage cet espace exceptionnel (Kareiva et al. 2011).

Depuis plusieurs siècles, cette occupation anthropique devient de plus en plus délétère pour ces écosystèmes (Dobson et al. 2006). Ceci est dû, d'une part, à l'accroissement démographique, inégal selon les territoires concernés et les problématiques locales. D'autre part, les « évolutions » des moyens de subsistance modernes impliquent, sous l'égide de la mondialisation, des pratiques toujours plus intensives et invasives, trop souvent au détriment des écosystèmes concernés (Lotze et al. 2006). Ces deux facteurs entraînent une augmentation exponentielle des impacts anthropiques sur les milieux littoraux et marins, en termes d'intensité et de variété (Waycott et al. 2009). Les plus impactant étant probablement l'artificialisation, ainsi que la surexploitation des ressources mais aussi les flux de nutriments et cortèges de polluants diffus et persistants en provenance des bassins versants.

Ce véritable « cocktail » de pressions anthropiques touche l'ensemble des écosystèmes littoraux et marins, avec des impacts sur les espèces marines, les habitats et sur les fonctionnalités écologiques de ces derniers (La Rivière et al. 2016). C'est ainsi l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème qui peut être altéré à plusieurs niveaux (fonctionnement biogéochimique et hydro-sédimentaire, structure et fonctionnement des réseaux trophiques,...).

C'est au regard de ce constat (Edwards et al. 1999) que différents projets de planification ont vu le jour en Europe¹. En effet, la fragilité de ces écosystèmes implique de développer un plan à large échelle pour mieux les comprendre, les gérer et les protéger dans un contexte de changements globaux (anthropisation, changement climatique, utilisation des ressources, pollutions, etc.). A ce titre, la Directive-cadre sur l'eau (DCE), adoptée en 2000, a permis d'amorcer les prémices de la politique globale européenne concernant la protection et la gestion de la ressource en eau (eaux continentales, de transition et côtières). En 2008, la Directive-cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM²) vient ajouter à la politique européenne sur le milieu marin un cadre réglementaire ambitieux et intégratif, fondé sur une approche écosystémique et incluant les eaux du large (zone économique exclusive). La DCSMM vise le bon état écologique du milieu marin, en articulation avec les politiques préexistantes (Directive cadre sur l'eau, directives Habitats-Faune-Flore et Oiseaux, directive Planification de l'espace maritime), où chaque sous-région marine est gérée au regard des pressions anthropiques et des enjeux écologiques qui y sont identifiés.

En France, la législation évolue également, en parallèle du plan européen, pour répondre à ces enjeux environnementaux. Depuis les années 2010, l'état cherche à imposer la compensation écologique des impacts anthropiques³ (Bigard et al. 2016), à l'instar des Etats-Unis. Cette volonté s'est traduite en 2016

¹ Loi sur l'eau, séquence ERC,...

² <https://dcsmm.milieufrance.fr/>

³ Développement durable et territoires : volume 11, n°2, Juillet 2020

par la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, impliquant une obligation d'appliquer la séquence Eviter-Réduire-Compenser (ERC⁴). Cette loi se traduit également par un point fondamental de la politique environnementale française de ces dernières années, à savoir l'objectif de non perte nette en biodiversité.

La restauration écologique est un concept qui a émergé dans ce contexte global de volonté de protéger l'environnement. Il repose sur le constat que certains écosystèmes étant dégradés ou détruits, les mesures de gestion (suppression ou réduction des pressions anthropiques) ne sont parfois pas suffisantes. , et sur le besoin de réparer les dommages écologiques afin de reconstruire une relation saine entre les Hommes et la nature (Gann et al. 2019).

Les premières expériences de restauration écologique en milieu marin ont eu lieu à la fin du XXème siècle, et se sont inspirées largement des opérations terrestres (Mengerink et al. 2014). Cependant, la restauration écologique des milieux littoraux et marins est encore plus complexe⁵ (Blignaut et al. 2013). Ces expériences novatrices et porteuses d'espoir font face à des difficultés méthodologiques, et également à un manque de connaissances scientifiques concernant les liens « Etat écologique – Pressions anthropiques – Impacts générés ». Cela génère une certaine difficulté pour les scientifiques et les gestionnaires des espaces naturels dans la prévision du succès potentiel de telles pratiques (Bayraktarov et al. 2016).

A ces difficultés s'ajoute parfois une certaine réticence en France, de la part des gestionnaires et des scientifiques, et un rejet de certains usagers de la mer. Cela vient alimenter un certain nombre de verrous, créant une boucle de rétroaction négative entravant la levée de ces verrous. Ces derniers sont liés à l'approche historique de la conservation, qui vise en premier lieu la réduction des pressions anthropiques (Abelson et al. 2015). Ils sont aussi d'ordre scientifique et technique, politique, financier, socio-économique, juridique. Malgré cela, des projets de restauration écologique de ces milieux ont lieu sporadiquement sur nos côtes métropolitaines et d'outre-mer, et permettent de lever progressivement ces verrous, notamment en accroissant nos connaissances.

Contexte

Ce stage, basé sur le site de Brest, a été réalisé au sein de l'Office Français de la Biodiversité (OFB), issu de la fusion entre l'Agence Française de la Biodiversité (AFB) et de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). Cette fusion a eu lieu en Janvier 2020, et cet établissement public est placé sous la tutelle des ministères chargés de l'environnement et de l'agriculture. Sa mission phare est de protéger et restaurer la biodiversité. Le service ayant accueilli ce stage est le Service Mobilisation de la Recherche (SMR), inclus au sein de la Direction Recherche et Appui scientifique (DRAS).

Le travail réalisé lors de ce stage s'articule autour de plusieurs axes :

⁴ Le dernier volet s'applique en cas d'impact résiduel mais aujourd'hui on se heurte à de très gros écueils méthodologiques pour évaluer :

1 – la perte de fonctionnalité écologique

2 -l'équivalence fonctionnelle suite à la mise en place de mesures de compensation

⁵ Complexité liée aux grands nombres de facteurs externes concomitants : Marnage, turbidité, menace d'événements extrêmes, etc., manque de connaissance écologique sur des processus complexes.

Le premier axe répondant au besoin de la fiche de stage rédigée par l'OFB. Il s'inscrit dans une volonté de capitaliser les connaissances existantes sur la restauration écologique en milieux marins et littoraux (côtier et estuarien) et de diffuser les expériences de restaurations écologiques.

Dans le cadre de ses conventions de recherche, l'OFB a confié pour la partie estuarienne le travail au BRGM (mandaté auprès du ministère sur les questions de surveillance la surveillance hydromorphologique pour la DCE et de l'intégrité des fonds au titre de la DCSMM). Un volet de capitalisation des retours d'expérience et de leur critique est d'ores et déjà disponible (Capderrey 2016, 2019). Ce travail sera alimenté et complété par les résultats du stage et permettra la création d'une plateforme de partage des retours d'expérience des projets de restauration écologiques des milieux littoraux métropolitains et ultra-marins. Cette dernière a pour vocation d'aider à la mise en place d'un cadre de réflexion nécessaire à la définition des projets. Elle a pour ambition d'être utilisée notamment comme un outil, par la communauté des gestionnaires (d'AMP, syndicats, etc.), et doit aider dans le cadre de la réflexion d'objectifs de rétablissement du « bon état écologique » des écosystèmes (DCSMM, DCE, N2000...). Elle sera également le lieu de renvoi vers les références disponibles (notamment centres de ressources de l'OFB et autres contenus adéquats) pour aider à la mise en place de nouveaux projets de restauration écologique en milieux estuariens et littoraux.

Le second axe de ce travail a pour objectif d'élargir le recensement réalisé par le BRGM, avec notamment des retours d'expériences de restauration écologiques en milieux marins.⁶

Enfin le troisième axe de travail, qui sera l'axe central de ce rapport de stage, s'oriente vers la recherche de piste(s) d'amélioration de la restauration écologique des milieux littoraux et marins en France.

Pour traiter du sujet de la restauration écologique, il est nécessaire de se baser tout au long de ce travail, sur certaines définitions bien établies. En effet, le mésusage de ces dernières est souvent source de confusion et d'erreur encore aujourd'hui, car il existe une grande variété de définitions.

D'après la *Society for Ecological Restoration*, la restauration écologique est définie par : « Processus d'assister le rétablissement, la régénération, ou l'auto-régénération d'un écosystème endommagé, dégradé ou détruit » (SER, 2004).

Nous englobons ici dans la notion de restauration écologique, les restaurations dites "passives" et "actives". La restauration "passive" s'appuie sur des efforts faits en amont pour réduire les impacts sur l'environnement. Cela passe par l'usage raisonné de la ressource mais aussi par une réduction des pollutions ou autres pressions anthropiques. Lorsque la mise en œuvre d'actions préventives de non dégradation ne suffit pas, l'action directe est alors nécessaire. On parle alors de restauration "active". Pour cela, le prérequis est une bonne connaissance de l'écosystème et des problématiques qui y sont liées, y compris en termes de dynamique, afin d'obtenir les résultats escomptés. Bien entendu, ce type d'actions ne doit être envisagé qu'après avoir limité les pressions et évalué le mode de gestion et d'usage, sans quoi tout effort de restauration serait vain (Guide cadre EVAL_IMPACT, 2018). Il est nécessaire de traiter les causes de la dégradation et pas seulement les symptômes.

⁶ L'ensemble des retours d'expérience recueillis au cours de ce stage viendront enrichir le contenu du Centre de Ressource Génie écologique (CDR GE) qui souhaite « mariniser » son contenu. Pour cela, certaines fiches de retour d'expérience (RETEX) seront adaptées au format du CDR GE.

La grande panoplie de données récupérées lors des RETEX, la variété des acteurs rencontrés et des thématiques débattues au cours des entretiens menés sont autant de pistes pour tenter d'émettre des problématiques que ce rapport aura pour vocation d'appréhender: Tout d'abord, comment se positionne la communauté de gestionnaires d'espaces naturels et de scientifiques sur le sujet de la restauration écologique des milieux littoraux et marins en France ? Quel sont les verrous/freins à leur déploiement et pourquoi ? Quelles sont les pistes pour tenter de lever les verrous techniques et scientifiques ? Quelles sont les tendances qui se dessinent au vu des données collectées ? Ces données collectées traduisent-elles une certaine similarité avec les données de la littérature internationale ?

Matériel et méthodes

N.B : La synthèse bibliographique complète réalisée au cours de ce stage est accessible via le lien en Annexe.

D) Synthèse bibliographique

I-1) Objectif de la synthèse bibliographique

La première étape de ce stage a consisté en une revue de la littérature internationale sur la restauration écologique des milieux littoraux et marins. Bien que la thématique de la restauration écologique, et *a fortiori* concernant les milieux littoraux et marins, soit relativement récente, de nombreux documents connexes sont disponibles.

L'objectif de cette première étape était d'explicitier les problématiques liées à la restauration écologique en milieu marin, mais également d'éclaircir cette notion, de l'enrichir de divers exemples et des éventuelles techniques novatrices associées, et enfin d'en discuter les avantages et les limites sur la base des éléments recueillis dans la littérature. Ce travail a été réalisé à partir de 39 publications scientifiques et complété par une recherche dans la littérature « grise » (rapports d'études d'impacts, avis des services de l'état pour la mise en œuvre de projets de restauration écologiques...). Cette recherche, limitée dans le temps, ne prétend pas être exhaustive et la représentativité des techniques de restauration écologique et des types d'habitats, espèces ou fonctionnalités concernés ne témoignent pas forcément de la réalité du terrain. Ainsi, les techniques concernant les herbiers, les structures artificielles, et les récifs de coraux peuvent apparaître aujourd'hui comme les plus étudiées, mais cela ne veut pas dire que d'autres techniques ne sont pas mises en place ou au stade de R&D (Recherche et développement).

Au sein de cette synthèse, dans un premier temps, ont été traités la notion de restauration écologique, ainsi que certains concepts connexes. Dans un second, une présentation succincte des différents habitats côtiers et marins, pour lesquels les intérêts internationaux semblent converger quant à une possible restauration écologique a été réalisée. Ce deuxième volet détaille, pour chaque type d'habitat, les fonctions écologiques qui s'y déroulent, et les indicateurs que les acteurs de la restauration écologique pourraient potentiellement utiliser pour le suivi de l'efficacité de l'action de restauration écologique.

Dans un troisième temps les différentes techniques de restaurations actives et passives classiquement mises en œuvre ou étudiées pour chaque type d'habitat sont présentées.

I-2) Types de contenu étudiés

Les différents types de contenus qui ont été étudiés pour alimenter cette synthèse sont (dans l'ordre décroissant en termes d'heures de contenu étudiées):

- Des **publications scientifiques**, en libre accès ou non, souvent en anglais. Dans cette catégorie se trouvent des articles publiés dans diverses revues à rayonnement international, ayant des Impact Factors variés.
- Des **guides thématiques**, en libre accès, souvent en français ou en anglais selon l'organisme à l'origine de la publication. Dans cette catégorie se trouvent des productions prenant des formes hétérogènes, souvent rédigées par des associations, ou des organismes publics.
- Des **documents « OFB » ou « AFB »**, en libre accès sur le portail technique l'OFB⁷, et rédigés en français. Dans cette catégorie se retrouvent différents types de documents, concernant les thématiques traitées par l'OFB.
- Des **séminaires et/ou webinaires**, souvent en français ou en anglais selon l'organisme organisateur. Afin de rendre le travail de recherche documentaire le plus efficace possible et le plus pertinent au vu de la thématique, il a été nécessaire, en amont de la recherche en elle-même, de définir les mots clés relatifs au sujet de ce stage. Ces mots clés doivent être sélectionnés avec soin car ils seront utilisés pour la recherche, que ce soit dans les portails de ressources documentaires classiques, ou sur les moteurs de recherche. Le choix de ces mots clés a été alimenté au fur et à mesure des premières lectures, éclairant sur d'autres pistes de recherche. Au final, les mots clés retenus sont visibles dans le tableau 1 situé en annexe

I-3) Recherche documentaire

Les mots-clés précédemment définis ont été utilisés pour axer les deux modes de recherche :

→ Utilisation de portails de recherche :

L'accès à ces portails est restreint, et la plupart proposent une version gratuite dont l'algorithme de recherche est peu performant.

La bibliothèque la Pérouse, centre de documentation sur la mer, située sur le site IFREMER/IUEM de Plouzané, a généreusement ouvert ses portes et apporté son aide pour ces recherches documentaires. Les revues et portails de recherche accessibles y sont variés, et permettent d'avoir une vision quasi holistique de la thématique étudiée. Ainsi, les portails de recherche utilisés grâce à la bibliothèque la Pérouse sont « *Web of Science* » et « *Scopus* ».

Sur ces portails de recherche, les mots clés précédemment définis ont été utilisés. La recherche a été réalisée avec les paramètres de recherche poussés, qui permettent d'écrire une « formule de recherche » avec les arguments « AND » et « OR ». Différentes combinaisons ont été utilisées, ce qui permet d'affiner au maximum les recherches et d'exclure automatiquement un grand nombre de documents.

Certaines revues scientifiques sont accessibles sur l'Environnement Numérique de Travail (ENT) de l'Université de Perpignan, dans l'onglet « bibliothèque », rubrique « bases et revues en ligne ». Les revues utilisées sont « Springer », « Science direct », et « Nature », et les mots clés utilisés pour la recherche restent les mêmes.

⁷ <https://professionnels.ofb.fr/>

Dans les paramètres de recherche, il est possible d'affiner davantage encore la recherche en sélectionnant une période de recherche. Dans notre cas, cette dernière n'a pas été sélectionnée, car la thématique est très récente.

→ Utilisation de moteur de recherche :

Le moteur de recherche de Google a été utilisé avec les mots clés définis, en anglais et en français. Pour chaque recherche, les premières pages suffisent en général pour trouver des documents d'intérêt.

L'utilisation de l'archive ouverte de l'IFREMER « Archimer », ainsi que l'archive ouverte « HAL » permettent de mettre la main sur de nombreux documents de littérature grise, de publication scientifique, et de thèses en accès libre (sur HAL notamment).

Les sites internet des Parcs Naturels Marins (PNMs), des Parc Naturels Régionaux (PNR), des réserves, et zones Natura 2000, de l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR), de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), et de la Society for Ecological Restoration (SER) sont également riches en documents sur la thématique de la restauration écologique.

II) Acquisition de données de retour d'expérience

II-1) Stratégie

La deuxième étape de ce stage a été la réalisation d'un questionnaire et de fiches « Retours d'expérience » (RETEX). Cette enquête s'adressait à divers acteurs de la restauration écologique des milieux littoraux et marins, en France métropolitaine et d'outre-mer. Elle avait pour objectif de recueillir des informations qualitatives sur les actions de restauration écologique en milieux littoraux et marins : contexte de leur mise en œuvre, acteurs de la restauration écologique, outils utilisés, appropriation du cadre méthodologique, évaluation de l'efficacité... Dans un premier temps, il était planifié de se concentrer sur les RETEX de gestionnaires d'aires marines protégées (AMP) interne OFB. Dans un second temps, au vu de faible nombre de réponses, le cercle de recherche s'est élargi pour toucher les autres acteurs de la restauration écologique de ces milieux, à savoir : les gestionnaires d'AMP⁸ externes à l'OFB, des scientifiques, des bureaux d'études, les services de l'état instructeurs des demandes de projets d'aménagements.

II-2) Création d'un questionnaire, d'une fiche « retour d'expérience » détaillée, et ébauche de la plateforme

Avant de rentrer en contact avec les acteurs de la restauration écologique des milieux d'intérêt, un questionnaire, puis une fiche RETEX, ont été réalisés. De plus, une première ébauche du contenu d'une future plateforme de retour d'expérience, basée sur les travaux en cours à l'OFB (dans le cadre de la mission inter-estuariens et du centre de ressource « génie écologique » de l'OFB) a été dessinée. Ce travail, qui succède la rédaction de la synthèse bibliographique, permet de mettre en exergue les points clefs issus des opérations de restauration écologique des milieux littoraux et marins du point de vue des acteurs de leur mise en œuvre. Ces points clefs doivent être identifiés sans perdre de vue l'objectif de capitalisation future de ces retours d'expérience (à destination des gestionnaires d'AMP notamment).

→ **Le questionnaire** est distribué à un très grand nombre de contacts (cf. paragraphe II-3) et a vocation à être transmis à une variété d'acteurs à travers des mails, des réseaux, et le bouche à oreille. Son format est volontairement très concis, puisqu'il comporte une quinzaine de questions. Une explication brève de

⁸ Voir la définition et les typologie d'AMP française dans la synthèse

la vocation de ce questionnaire est présentée, et les définitions des termes d'intérêt sont indiquées. Le formulaire ainsi créé est accessible à l'URL suivante :

<https://formulaires.ofb.fr/questionnaire-autour-de-la-restauration-ecologique-des-milieux-littoraux-et-marins-1620395068>

L'avantage d'un tel questionnaire est qu'il permet de toucher un grand nombre de professionnels, bien que ces derniers soient souvent peu concernés par la thématique de la restauration écologique. Les questions sont volontairement rapides à compléter, de telle façon à motiver les répondants, et ne pas empiéter sur leur temps. La récupération des contacts au travers d'une question dédiée permet de recontacter les professionnels dont les informations transmises soulèvent l'intérêt pour mener un RETEX plus complet portant sur une action de restauration écologique.

→ **La fiche RETEX détaillée** est réalisée pour servir de cadre à des entretiens semi directifs ultérieurs (cf paragraphe II-4)). Cette fiche est réalisée en parallèle de la première ébauche de la **plateforme de retour d'expérience et sur la base des éléments recueillis dans la littérature**. En effet, ces fiches RETEX (une par projet de restauration écologique) ont vocation à venir compléter les projets de plateformes de partage des retours d'expérience. Ces fiches offrent un état des lieux du contexte des actions de restauration écologique mises en œuvre et de la perception de leurs acteurs. Elles s'articulent autour de volets techniques mais aussi administratifs, juridique et financiers, basés sur le cadre conceptuel de la restauration écologique (issu de la littérature scientifique) :

- Identification des *motifs déclencheurs* des opérations de restauration écologique, des *leviers d'actions*, et des *acteurs* impliqués.
- *Description* du site restauré.
- *Objectifs de l'action de restauration* écologique, et types de restauration écologique mis en place (par exemple, restauration active ou passive, opération de réhabilitation, récréation, renaturation...).
- *Nature des financements*, et *montants totaux* engagés (en euros), *coûts annuels des suivis*.
- *Pressions anthropiques* ciblées par l'action de restauration, notamment les pressions les plus impactantes (une typologie des pressions anthropiques ayant un impact sur l'environnement marin a été réalisée lors de la synthèse bibliographique afin de guider les entretiens).
- Les *activités socio-économiques* associées.
- Les *gains écologiques et socio-économiques* attendus au regard des objectifs définis.
- Les *méthodes de suivis avant/après* restauration mises en place, ainsi que les *protocoles expérimentaux*, et les *indicateurs/paramètres suivis*.
- La composante *échec/réussite/en cours* de l'action.

La fiche type RETEX réalisée au cours de ce stage est visualisable en annexe, ainsi que le tableau qui représente les rubriques de la plateforme de retour d'expérience en développement, et également celles de la fiche retour d'expérience issue du CDR GE

II-3) Contact des acteurs de la restauration écologique des milieux littoraux et marins

La prise de contact a été réalisée en plusieurs étapes. Le but étant, dans un premier temps, de faire diffuser le questionnaire court (cf paragraphe II-2).

Dans un premier temps, les acteurs de la restauration écologique interne à l'OFB ont été contactés. Les entités OFB visées étaient les délégations de façade maritime, en charge de la gestion ou de la cogestion de sites Natura 2000 et de l'animation du réseau de gestionnaire d'AMP à l'échelle de leur façade, et les Parcs naturels marins. Pour cela, les délégués de façades maritimes ont été contactés afin de leur

expliquer d'une part les objectifs du stage, et d'autre part, pour relai auprès des réseaux de gestionnaires d'AMP ou transmission à leurs contacts. Le questionnaire a également été transmis au forum des gestionnaires d'AMP, animé par l'OFB et rassemblant les gestionnaires d'AMP toutes catégories confondues de métropole et d'outre-mer. Cela permet donc en théorie de toucher rapidement ces gestionnaires et éviter de nombreuses recherches.

La mobilisation interne des délégués de façade maritime et des parcs naturels marins a permis d'identifier les démarches effectuées au sein de leur façade maritime, et également, lorsque des projets sont connexes, de mettre en contact les acteurs de ces projets. En parallèle, des réunions ont été menées au sein de divers services liés à l'OFB. Lors de ces réunions, la présentation des objectifs de ce stage a été réalisée, et certains premiers contacts effectués ainsi. 4 réunions ont ainsi été assurées : une réunion avec les directeurs délégués des Parcs Naturels Marins, une réunion avec certains agents de l'équipe du projet européen LIFE MarHa (projet qui a pour objectif de rétablir et maintenir le bon état de conservation des habitats naturels marins), une réunion avec le Réseau Thématique « Usages Industriels et Aménagements Marins » de l'OFB qui rassemble les agents en interne mobilisés sur ces sujets, et enfin différentes autres réunions avec les agents OFB (réunion de service « Mobilisation de la recherche » de la DRAS, réunion avec l'équipe du centre de ressource « Génie Ecologique » de l'OFB). Dans un deuxième temps, au vu du faible nombre d'actions de restauration écologique opérées à l'OFB sur le milieu marin, la recherche de contact a été élargie à l'ensemble des AMP, via les réseaux animés par l'OFB et par des recherches sur internet puis par mail ou par téléphone.

Globalement, il a été constaté l'existence de nombreux projets de restauration écologique en Outre-Mer. Cependant, les canaux de diffusions n'ont pas permis de toucher ces actions. Ceci explique en partie le manque de RETEX en Outre-Mer.

En tout, 42 participations au questionnaire ont été comptabilisées. Sur ces 42 participants, 6 n'ont pas souhaité être recontactés. Par la suite, selon la teneur des réponses au questionnaire, un entretien approfondi a été proposé à 26 contacts pour effectuer un RETEX complet.

Finalement, sur ces 26 contacts, 6 se sont désistés au fil de l'eau et 20 RETEX réels ont été réalisés, puis complétés (cf paragraphe II-4)).

La prise de contact correspond à la principale difficulté de ce travail car elle dépend d'une multitude de facteurs. Il arrive que les mails se perdent, ou ne soient pas lus, étant envoyé par un contact inconnu. De plus, le stage se déroulait en partie sur la période estivale, et les emplois du temps de ces professionnels sont parfois variables et imprévisibles.

II-4) Réalisation des retours d'expérience

Les retours d'expériences sont réalisés en visioconférence, via les outils zoom et/ou JITSI. Certains entretiens ont eu lieu par téléphone. Quel que soit le format, l'entretien est semi-directif : il est mené comme une discussion où l'interlocuteur est invité à présenter son action. Les questions posées à l'interlocuteur viennent au fil de l'eau ponctuer ses dires, pour approfondir sur telle ou telle facette de l'action. Globalement, la discussion est orientée pour suivre la trame de la fiche RETEX.

Après l'entretien, il est nécessaire de retravailler les notes prises pour compléter de la manière la plus précise possible la fiche de retour d'expérience. Des recherches bibliographiques supplémentaires sont réalisées. La fiche ainsi constituée correspond à un projet de restauration écologique des milieux littoraux et marin. **Un droit de regard est systématiquement proposé au professionnel contacté pour d'éventuels rajouts, corrections, ou retouches.**

Afin de compléter les 20 retours d'expériences ainsi réalisés, les résultats d'enquêtes opérées dans d'autres contextes ont été ajoutés pour le traitement et l'analyse des données (cf paragraphe IV-2). Ces RETEX complémentaires sont au nombre de 12 et ont été récupérés sur le centre de ressources « Génie Ecologique », ainsi que sur les documents OFB intitulés « *Capitalisation sur les mesures de gestion au sein des aires marines protégées de méditerranée 2018* » et « *Capitalisation sur les mesures de gestion et de suivi au sein des AMP de l'Atlantique 2018* ». Parmi ces ajouts se trouvent plusieurs RETEX localisés en Outre-Mer ce qui permet de « compléter » le panel d'opérations réalisées en métropole.

III) Traitement et analyse des données RETEX

III-1) Cartographie des opérations de restauration écologique des milieux littoraux et marins recensées

Une cartographie des 32 opérations de restauration écologique recensées lors de ce travail a été réalisée. Le but de cette cartographie est d'avoir un regard global sur les localisations de ces opérations, et donc de voir où se situent les AMP concernées. Cette carte vient en support aux données acquises lors des RETEX. Elle a été réalisée via l'outil *Cartomer* de l'OFB (<https://cartographie.afbiodiversite.fr/viewer/>) et via le site *umap* (<http://umap.openstreetmap.fr/fr/>).

III-2) Description des données RETEX

L'ensemble des données d'intérêt ont été stockées dans un tableau au format .csv. Ce tableau nommé « metadata.csv » est disponible en annexe. Il permet d'observer pour chacune des 32 opérations de restauration écologique (les « individus ») la valeur de chaque variable. Ces variables sont au nombre de 9 variables quantitatives, et 34 variables qualitatives (de type facteur).

Parmi les variables quantitatives, certaines ont été converties en variables qualitatives via le logiciel R (cf paragraphe IV-3)) : il s'agit des variables « classe d'objectif », « résultats écologiques » et « résultats socio-économiques » :

- La variable « classe d'objectif » peut prendre comme valeur la classe « 1 » ou la classe « 2 ». La classe « 1 » correspond à une opération dont les objectifs de restauration n'ont pas été clairement définis au regard des habitats et des fonctionnalités à restaurer. La classe « 2 » correspond à l'inverse.

- Les variables « résultats écologiques » et socio-économiques » peuvent prendre comme valeur les modalités « 0 », « 1 » ou « 2 ». La modalité « 0 » correspond à des résultats écologiques et/ou socio-économiques qui ne sont pas encore démontrés. La modalité « 1 » correspond pour ces deux variables à des résultats qui atteignent partiellement les objectifs énoncés. La modalité « 2 » correspond pour ces deux variables à des résultats qui atteignent complètement les objectifs énoncés.

La variable quantitative intitulée coût global avait pour objectif d'informer sur les coûts totaux impliqués par opération de restauration, toutes années confondues. Finalement, au vu de l'hétérogénéité de cette variable entre les différents RETEX (certains acteurs avaient peu d'informations, ou transmettaient seulement certains coûts) il a été décidé de ne pas utiliser cette variable pour les analyses futures. Une méthode plus scrupuleuse aurait permis de tirer des informations clés pour ce travail.

La variable qualitative « type de restauration » est constituée de 5 facteurs :

- « Passive » indique que l'action n'était pas active

- « Réhabilitation » indique une action qui vise la récupération de certaines fonctionnalités ou de certains groupes d'espèces en déployant des actions permettant d'atteindre un attribut spécifique de l'écosystème (synthèse, Capderrey et al. 2016)

-« Recréation » indique une volonté de créer de nouvelles trajectoires écologiques voire générer de nouvelles fonctionnalités écologiques (synthèse, Capderrey et al. 2016).

-« Réintroduction » indique l'action d'amener de nouveau une espèce sur un site où elle était présente historiquement. Elle peut correspondre à des actions de réhabilitation ou de recréation. Cependant, cette sous-catégorie a été conçue pour faire ressortir son importance dans l'analyse.

-« Éradication » indique une action où des espèces (indigène ou exotique invasive) ont été totalement ou en partie retirées, quelle que soit la méthode, de l'écosystème par la main de l'homme. Ce type de restauration correspond en général à une action de réhabilitation. Cependant, cette sous-catégorie a été conçue pour faire ressortir son importance dans l'analyse.

N.B. : Etant donné la grande variété de typologie d'habitats existants, il a été décidé, dans un souci de clarté, de définir la variable qualitative « Grand type d'habitat » de manière empirique, au fil de l'eau des RETEX.

III-3) Traitement et analyses des données RETEX

N.B. : Les lignes de code sont disponibles en annexe. Sur R, les packages suivants ont été installés et chargés via l'interface R studio : « Factominer », « FactoInvestigate » et « Factoshiny »

Le logiciel R en version 4.1.0 a été utilisé afin de traiter les données RETEX, ainsi que son interface R studio. Ce logiciel a permis d'importer le tableau « metadata.csv » avec comme séparateur le « ; ».

Certaines variables quantitatives ont été converties en variable qualitative de type « factor » (cf paragraphe IV-2) via la fonction *as.factor()* sous R.

Des méthodes de statistiques descriptives ont été utilisées avec le logiciel R afin d'explorer le jeu de données. Des diagrammes en bâton simples ou à barres empilées (réalisés à l'aide de la fonction *barplot()*) et des boîtes à moustaches (fonction *boxplot()*) ont été réalisés. De plus, une dispersion de points a été tracée (fonction *plot()*) et des statistiques associées à la corrélation des deux variables quantitatives ont été calculées. Certaines de ces représentations les plus riches en informations seront présentées dans la partie III) *Résultats*.

Enfin, au vu de la nature mixte des variables étudiées (quantitatives et qualitatives), une tentative d'analyse multivariée de type **Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM)** a été réalisée avec R à l'aide de divers packages.

Au vu de la faible qualité de cette analyse au regard des dimensions principales, notamment un graphique du cercle des corrélations n'apportant aucune information, un autre parti pris a été choisi. Une **Analyse en Composantes principale (ACP)** a été réalisée dans un premier temps, avec comme variables quantitatives le **nombre de pressions caractérisées**, les **coûts annuels de suivi**, le **nombre de paramètres suivis**, et le **temps de suivi**. Ces variables ont été centrées réduites en amont (fonction *scale()*). Dans un deuxième temps, une **Analyse des Correspondances Multiples (ACM)** a été effectuée avec les variables qualitatives « **type de restauration active** », « **pression principale** », « **grand type d'habitat** », et « **motivation de la restauration** ». Toutes les autres variables ont été utilisées comme variables supplémentaires. Cette analyse n'ayant pas offert une interprétation intéressante, elle a été placée en annexe.

Pour les deux analyses, aucun « individus supplémentaires » n'a été indiqué.

Résultats

I) Données brutes

Les données brutes correspondant aux 32 individus (individu=projet de restauration écologique) et les valeurs des 43 variables associées sont situées en annexe (cf *tableau 2*).

N.B. : Ces données ont été acquises lors des RETEX et n'ont pas vocation à être extrapolées à la scène de la restauration écologique, qu'elle soit française ou internationale. Il s'agit d'une image informative, à un temps donné de certaines actions qui ont été recueillies, et dont l'exploitation statistique devra être exploitée comme telle.

II) Cartographie

Les cartographies réalisées au cours de cette étude ont été placées en annexe car elles ne sont pas essentielles à la compréhension de l'analyse des données (cf annexe : *cartes 1-2-3-4*). Ces cartes représentent les sites où ont eu lieu les opérations de restauration écologique dont des retours d'expériences ont été réalisés. Ainsi, les cartes de France Métropolitaine avec les façades associées, et les cartes de Guadeloupe, Mayotte et Nouvelle-Calédonie sont visibles.

III) Autres données

Les RETEX ont été le théâtre d'échanges variés avec de nombreux interlocuteurs. Les données brutes (cf *paragraphe I*) ont été ainsi acquises, notamment dans l'objectif final de la complétion de la future plateforme de retours d'expérience⁹, et également de la plateforme CDR GE. D'autres données qui n'ont pas été catégorisées comme données brutes mais qui sont tout autant essentielles à la compréhension de cette thématique complexe ont été recueillies lors des entretiens. Ces informations correspondent à des avis à proprement parler, basés sur les expériences et les activités de chacun. Ces données seront donc utilisées, non pas pour décrire les analyses statistiques (cf *paragraphe III*) mais pour étayer la discussion qui en suivra (*chapitre « Discussion »*).

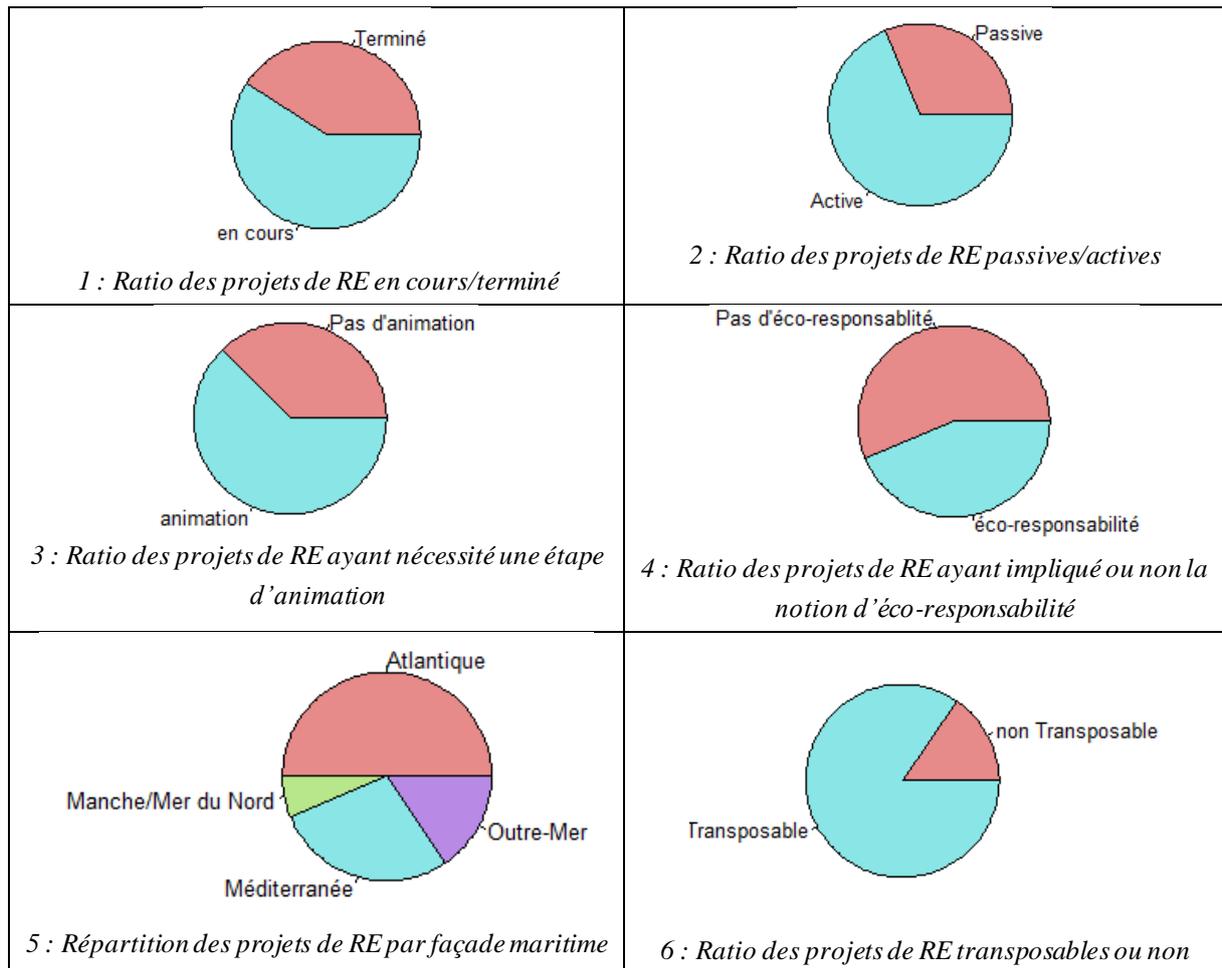
IV) Analyses statistiques

IV-1) Généralités

Les graphiques secteurs 1 à 6 ci-dessous nous informent que peu de projets ont été référencés en Outre-Mer, et sur la façade Manche/Mer du Nord lors de l'enquête. Les projets de restauration écologique de cette étude sont basés en grande partie sur la façade Atlantique, mais également 25 % de ces projets sont basés sur la façade Méditerranée. Une grande partie des projets sont encore en cours et non considéré comme terminés. Globalement, plus de projets sont des projets de restauration écologique dite « active », bien que, comme mentionné dans la synthèse, la restauration passive est implicite pour chaque projet.

⁹ Plateforme OFB/BRGM

Bien que l'animation¹⁰ soit en général une étape de la restauration écologique, ce n'est pas le cas de l'implication de l'éco-responsabilité¹¹, qui, il semblerait, se développe petit à petit. Enfin, les projets de restauration écologique (RE) sont très souvent réalisés dans une volonté de transposabilité.



Graphiques secteurs 1-6

L'enquête a permis de recueillir des retours d'expérience sur des actions de restauration écologique réalisés au sein de catégories d'AMP variées. 7 types de gestionnaires ont répondu questionnaire (figure 1). Les gestionnaires issus des DFM (délégations de façades maritimes), et des PNM (Parcs Naturels Marins) sont gérés ou cogérés par l'OFB. D'après les résultats de l'enquête, peu d'associations sont impliquées dans la gestion d'AMP où ont lieu les projets de restauration écologiques. Cependant, il est fréquent que ce soient les collectivités territoriales qui s'attèlent à cette tâche, surtout en Outre-Mer. De nombreux syndicats mixtes, surtout en Méditerranée sont également impliqués.

¹⁰ L'animation permet de rencontrer les différents usagers locaux et de faire se rencontrer les gestionnaires, scientifiques, maître d'œuvre, pêcheurs, plaisanciers... L'animation n'inclue pas toujours la création de comités.

¹¹ L'éco-responsabilité implique d'utiliser des matériaux non impactants sur le milieu, de mettre en jeu des entreprises locales, et de chercher à minimiser les impacts sur l'environnement de l'action de restauration en elle-même.

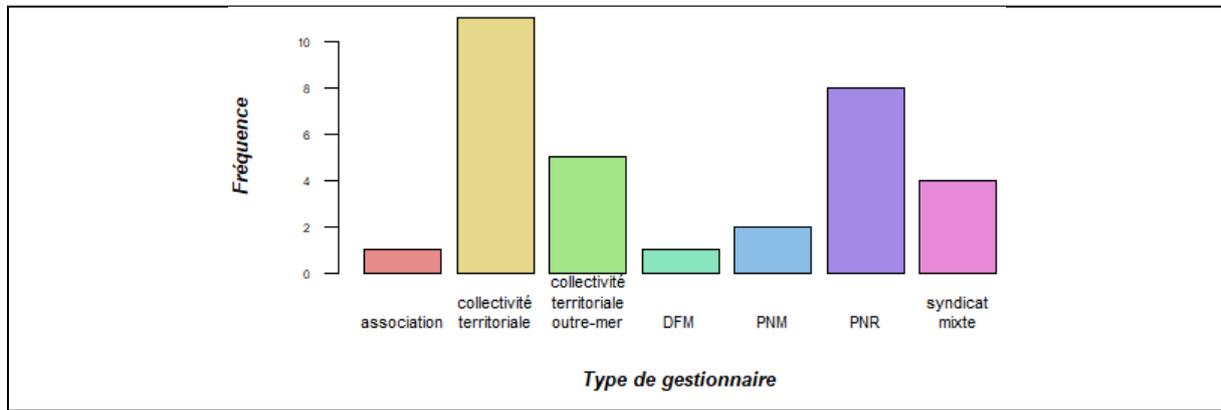


Figure 1 – Représentation des types de gestionnaires identifiés lors de cette étude et leur fréquence associée

IV-2) Chronologie

D'un point de vue chronologique, les RETEX de cette étude traduisent bien le caractère récent de la restauration écologique des milieux littoraux et marins (*figure 2 et 3* ci-dessous). D'ailleurs, les habitats de macroalgues et les herbiers (point à l'extérieur de la boîte à moustache « herbier ») ont été les premiers à être restaurés, avec une première opération en 1990. Comme on peut le voir sur cette même *figure 2*, parmi les grands types d'habitat restaurés en premier, on note la présence des vasières et des dunes, considérées comme côtières terrestres. En effet, les vasières, les récifs coralliens et les dunes ont vu leurs premières opérations être réalisées au début des années 2000. Les grands types d'habitats les plus récents à avoir fait l'objet d'opérations de restauration d'après l'étude sont le maerl et les huitrières, et les marais-salés. *La figure 3* nous permet de voir que dans cette étude, les opérations de restauration écologiques ont débuté en Occitanie, puis en Nouvelle-Calédonie et en Normandie. Notons que ces boîtes à moustaches traduisent le contenu des RETEX collectés dans cette étude, et ne sont en aucun cas représentatifs de l'ensemble des opérations de restauration écologique.

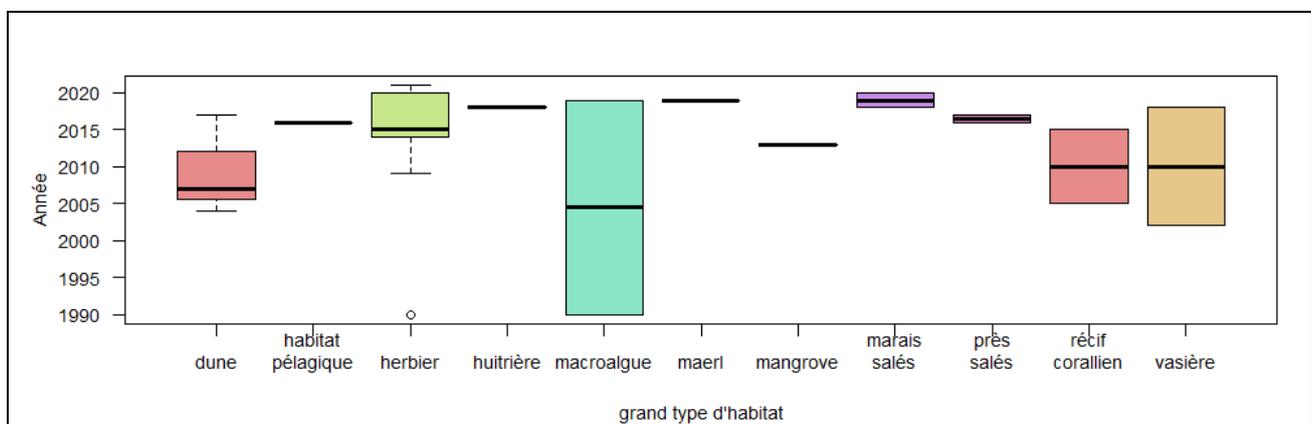
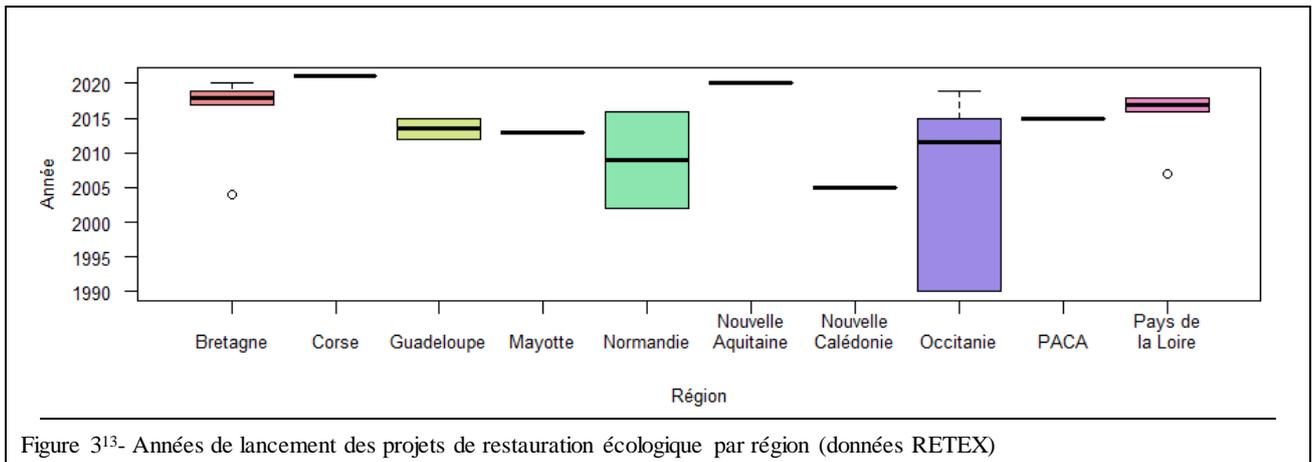
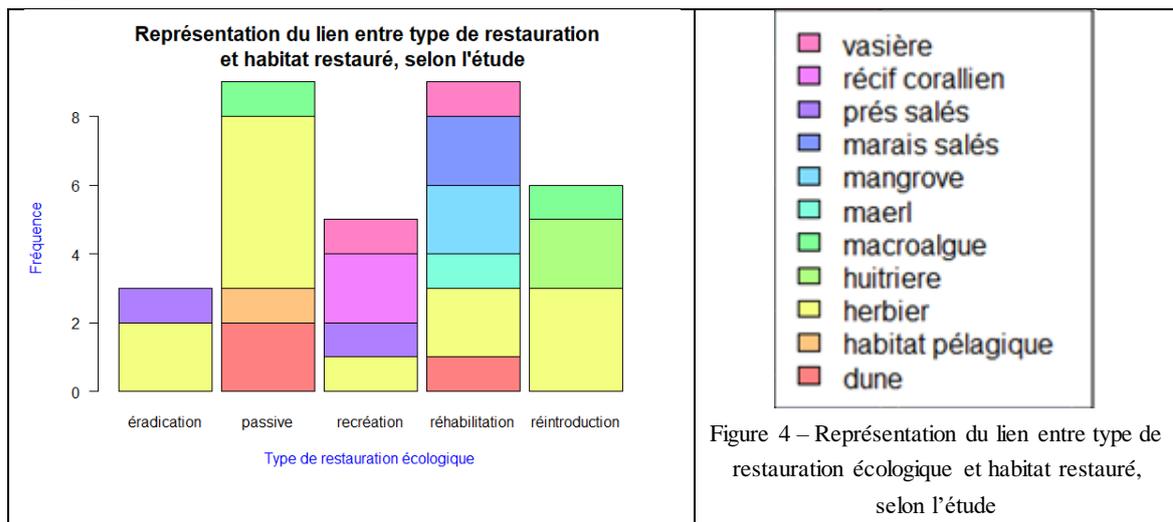


Figure 2¹²- Années de lancement des projets de restauration écologique en fonction des grands types d'habitats identifiés par l'étude

¹² Figure 2 bis en annexe à consulter pour plus d'informations



IV-3) Type de restauration et habitats restaurés¹⁴



La figure 4 ci-dessus nous informe sur la grande variabilité des types de restauration (cf chapitre *Matériel et méthodes*) écologique employés pour chaque grand type d'habitats considérés dans l'étude. Les mesures de restauration exclusivement passives concernent ici des habitats variés (dune, habitat pélagique, herbier, macroalgue). Concernant les différents types de restauration active : les habitats d'herbiers peuvent être restaurés d'un grand nombre de manières... Les vasières ont été ici restaurées par recreation et réhabilitation. Les récifs coralliens ont été restaurés par recreation uniquement. Les prés salés ont été restaurés par l'éradication d'EEE, et par recreation de l'habitat. Les habitats constitués de macroalgues ont être restauré par réintroduction. Enfin, les huitrières constituent le seul habitat à être avoir été restauré exclusivement par réintroduction d'espèces dans le milieu, dans cette étude. La réhabilitation semble être la technique de restauration « active » la plus communément utilisée par rapport à la recreation (cf définitions dans le chapitre *Matériel et Méthodes*). Dans notre jeu de données, il y a eu relativement peu d'action d'éradication (3 sur 32), et elles concernaient des habitats biogéniques constitués d'espèces végétales (algue ou herbier).

¹³ Figure 3 bis en annexe à consulter pour plus d'informations
¹⁴ Figure 4 bis en annexe à consulter pour plus d'informations

IV-4) Pressions et types d'habitats restaurés¹⁵

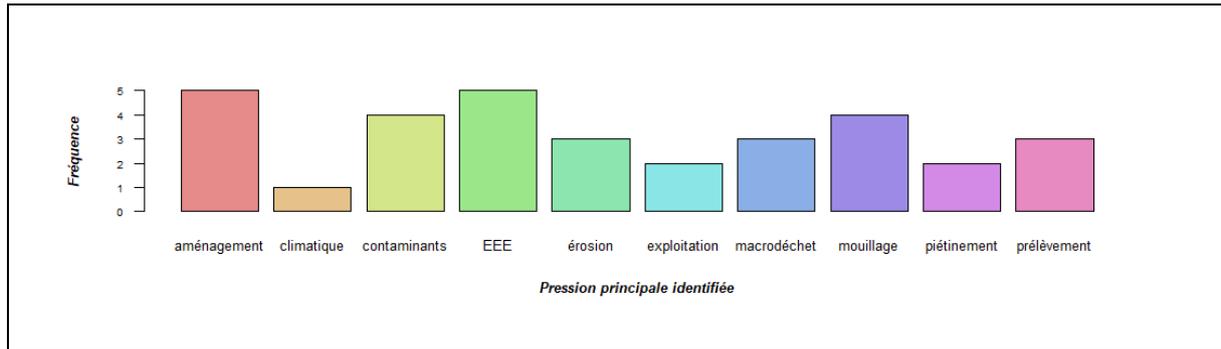


Figure 5 – Représentation des pressions anthropiques principales ayant entraîné un besoin de restauration écologique en France d'après l'étude

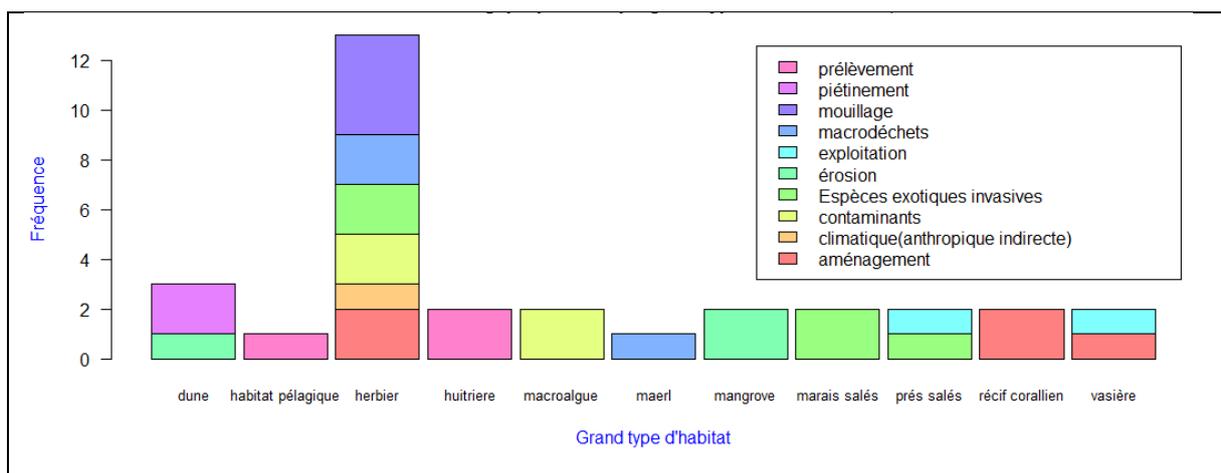


Figure 6 – Représentation des pressions anthropiques menant le plus fréquemment à une opération de restauration écologique pour chaque grand type d'habitat identifié, selon l'étude

Les pressions à l'origine d'une dégradation d'un écosystème ou d'un habitat sont variées et multiples, et toujours d'origine anthropique, que ce soit de manière directe ou indirecte (changements climatiques, espèces exotiques envahissantes (EEE),...). La *figure 5* ci-dessus nous informe que les actions de restauration recensées dans notre étude ciblent 10 grands types de pressions anthropiques. Dans notre étude, les aménagements, les EEE, les contaminants (flux ou épisodes de pollution ponctuels), et les mouillages sont les plus fréquents. *A contrario*, un seul retour d'expérience sur une action de restauration en réponse à l'impact du changement climatique a été recueilli dans cette étude. La *figure 6* ci-dessus nous éclaire sur le lien entre ces pressions et les habitats restaurés. Les actions de restauration écologique conduites sur des herbiers de phanérogame sont associées au plus large panel de pressions anthropiques. Dans cette étude, la pression d'exploitation est plutôt associée aux écosystèmes de type zones humides (prés salés, vasière). Cette pression est analogue à la pression de prélèvement, ciblée par les actions de restauration sur les habitats marins (huitrières et habitat pélagique). L'aménagement est l'une des pressions le plus souvent (5 fois sur 32) à l'origine d'une action de restauration écologique dans cette étude (*figure 5*). Cette pression et les actions de restauration associées concernaient les

¹⁵ Figures 5 bis en annexe à consulter pour plus d'informations
Figure 6 bis en annexe à consulter pour plus d'informations

herbiers, les récifs coralliens et les vasières. Ces pressions de type aménagements sont liées à la mise en œuvre de la séquence ERC d'après nos données. Les EEE sont aussi une pression anthropique indirecte souvent (5 fois sur 32) à l'origine des opérations de restauration écologique recueillies dans cette enquête. Ce sont avant tout les habitats riches en végétaux (herbiers, marais salés, prés salés). Les mouillages constituent la principale pression à l'origine des actions de restauration recensées ici sur les herbiers, alors que les macrodéchets¹⁶ sont à l'origine des actions de restauration écologique des bancs de maërl, en plus des herbiers. L'érosion du trait de côte touche avant tout des habitats de dunes et les mangroves. Enfin, la pression anthropique indirecte du changement climatique est moins représentée ici et n'est ciblée que par une seule action de restauration d'un habitat d'herbiers. Il s'agit des herbiers de *Zostera marina* et *Zostera nolteii* du bassin d'Arcachon ayant connu une vague de chaleur très forte en 2003, associée à de forts taux de contaminants dans l'eau, à l'origine de la boucle de rétroaction négative qui ne cesse de dégrader ces écosystèmes depuis lors.

IV-5) Financements de la restauration de la restauration écologique¹⁷

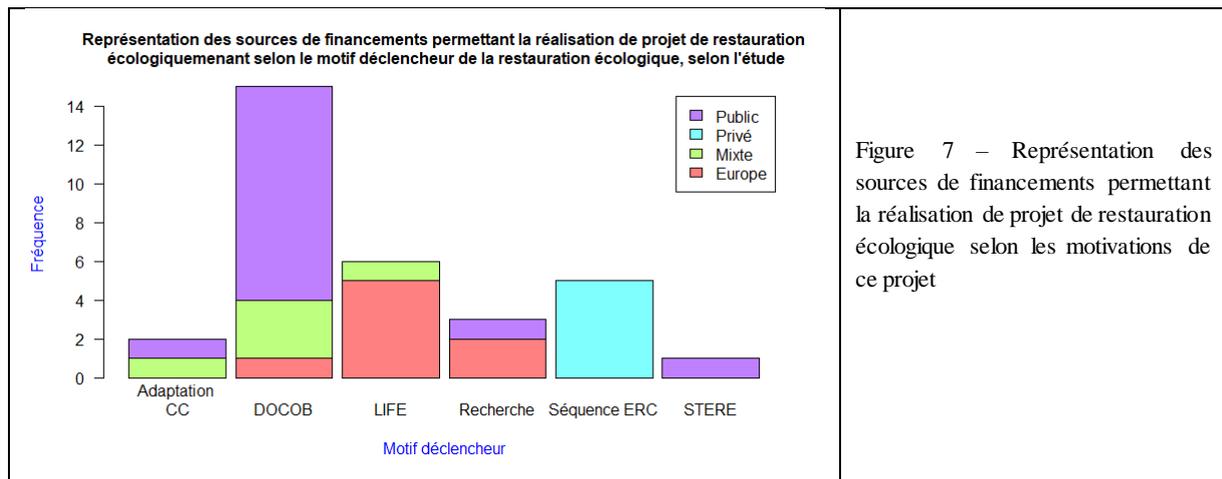


Figure 7 – Représentation des sources de financements permettant la réalisation de projet de restauration écologique selon les motivations de ce projet

La *figure 7* ci-dessus nous permet de constater qu'une grande partie (14 sur 32) des projets de restauration écologique référencés ici ont été motivés par un DOCOB (document d'objectif Natura 2000), impliquant des financements avant tout publics, et plus rarement européens. Les projets LIFE ont notamment permis de lancer (6 projets sur 32) sur fonds européens, parfois associés à d'autres leviers de financements (50/50 Europe/public).

La séquence ERC a été 5 fois sur 32 un motif déclencheur d'une action de restauration, avec des fonds privés. Quelques actions (3 sur 32) de restauration écologique ont été motivées par la recherche, à l'aide de fonds publics ou Européens. Une action de restauration a été engagée dans le cadre d'un Schéma Territorial de Restauration Ecologique (STERE), impliquant des fonds publics. Enfin, des actions ont été motivées par une volonté de lutter contre le changement climatique (2 sur 32) avec des financements européens ou publics.

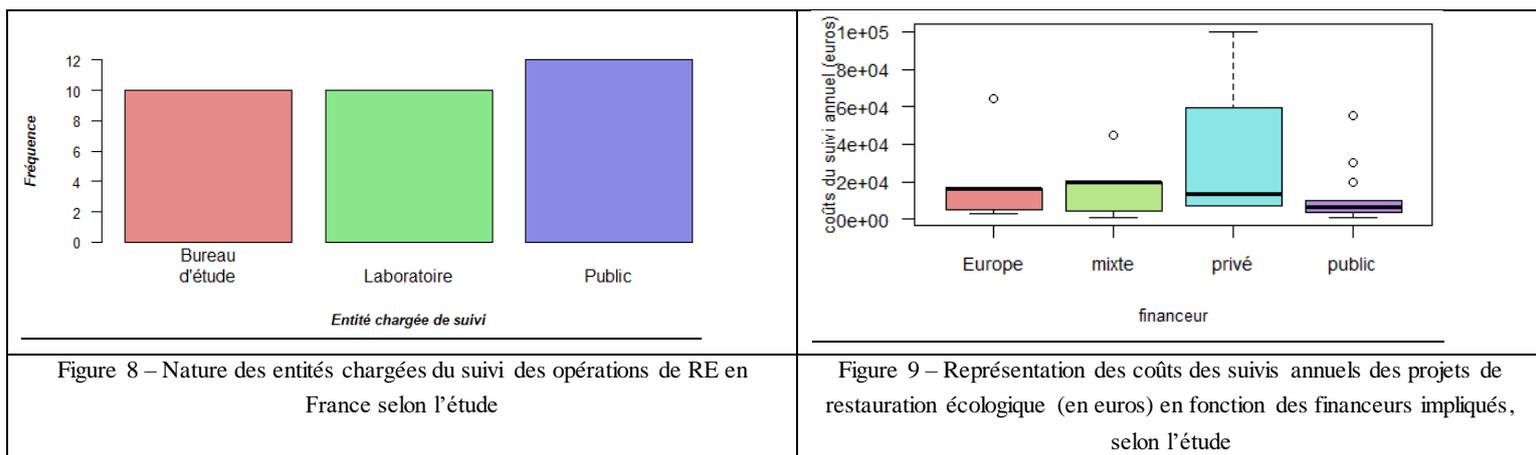
IV-6) Suivi de la restauration écologique

La *figure 8* ci-dessous nous permet d'identifier les entités chargées du suivi des opérations de restauration écologique identifiées par les RETEX, qui sont dans la majorité des cas des entités publiques

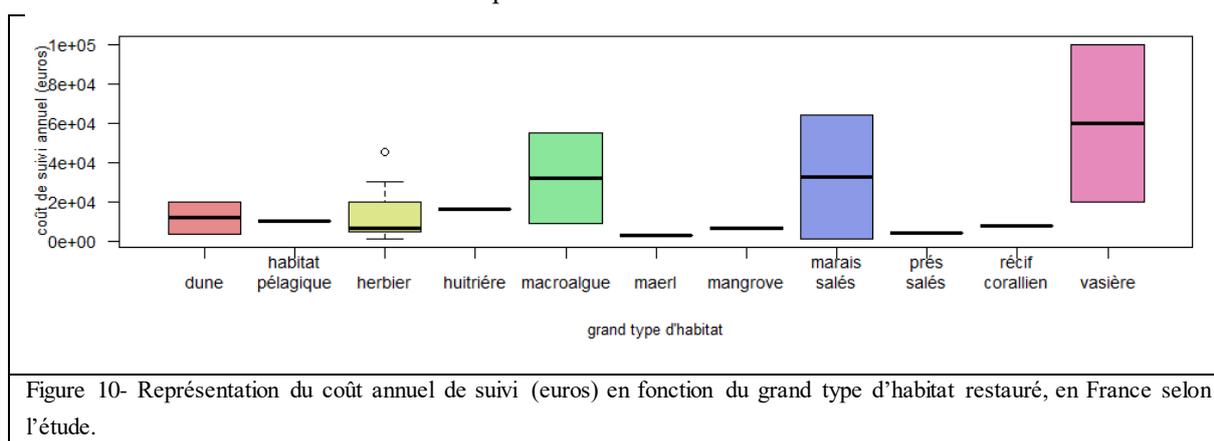
¹⁶ Ces macrodéchets sont constitués en grande partie de corps morts, et objets issus de la pêche et de la conchyliculture abandonnés.

¹⁷ Figure 7 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

(collectivités territoriales, PNM, PNR...), puis des organismes de recherche (publics également mais considéré ici comme une catégorie à part, étant donné son importance), puis des bureaux d'études.



La figure 9¹⁸ ci-dessus nous montre que les coûts annuels de ces suivis en euros sont extrêmement variables selon la nature des financeurs. Les fonds publics sont à l'origine de suivis relativement peu coûteux, de l'ordre de quelques milliers d'euros en moyenne, sauf pour un projet qui concerne la restauration passive de la lagune de Thau. On constate également que l'Europe permet d'avoir davantage de financements (y compris les financements mixtes) alloués aux coûts des suivis par rapport aux fonds nationaux, sur les opérations étudiées. Enfin, les dépenses du privé pour les suivis peuvent être, notamment dans le cadre de la séquence ERC, bien plus importantes que les autres. Ce n'est pas toujours le cas comme l'atteste la médiane du boxplot.



Les coûts annuels des suivis sont également très variables selon le type d'habitat restauré, d'après notre étude, comme l'indique la figure 10 ci-dessus. Les suivis de vasières sont ici les plus coûteux. Les actions de restauration écologiques des marais salés et des forêts de macroalgues recensées dans cette étude ont mobilisé également des fonds relativement importants. Concernant les autres types d'habitats restaurés, les coûts de suivis annuels oscillent autour des mêmes ordres de grandeur, entre quelques milliers d'euros et une vingtaine de milliers d'euros. Les coûts de suivis ne dépendent pas que de

¹⁸ Figures 8 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

l'habitat mais aussi des objectifs, du type de restauration (cf annexe), ¹⁹des technologies utilisées, du nombre de paramètres suivis. Cependant cette figure nous donne une image de ce que peuvent être les fourchettes des coûts de suivis des projets de restaurations écologiques par habitats, tous types confondus. Les figures 11 et 12 ci-dessus montrent que les dépenses annuelles pour les suivis semblent avoir un impact sur l'atteinte des résultats écologiques, mais pas socio-économiques (Les classes des résultats écologiques et socio-économiques ont été explicitées dans le chapitre *Matériel et Méthodes*). Il ressort des RETEX que des coûts de suivis plus élevés ont permis l'atteinte de résultats écologiques plus probants concernant la restauration du milieu et des fonctionnalités associées, dans le cadre de cette étude. Notons que les résultats des opérations de restauration écologique peuvent évoluer sur un long laps de temps, et donc ces résultats constituent une image à un instant T.

La figure 13 ci-dessous nous permet de mettre en évidence le lien de corrélation entre le coût annuel de suivi et le nombre de paramètres suivis. La corrélation est forte, de l'ordre de 0.64. Un test de *student* nous a permis de rejeter l'hypothèse H0 qui indiquerait que cette corrélation serait le fruit du hasard, et finalement inexistante. On a donc finalement au vu de notre équation, 42% de la variance du coût de suivi annuel qui est expliqué par le nombre de paramètres suivis. La figure 14 ci-dessus nous informe que davantage de paramètres vont être suivis selon que les objectifs de la restauration écologique ont été bien définis ou non (les classe de qualité ont été définies dans le chapitre matériel et méthodes).

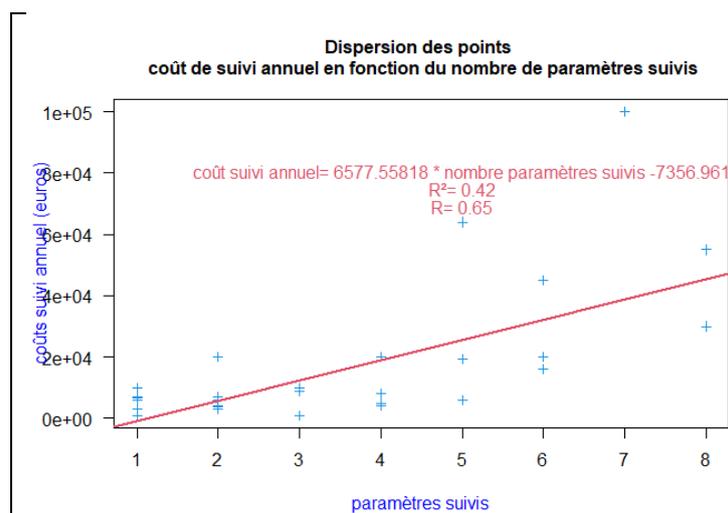


Figure 13 – Dispersion des points – coûts de suivi annuel (euros) en fonction du nombre de paramètres suivis

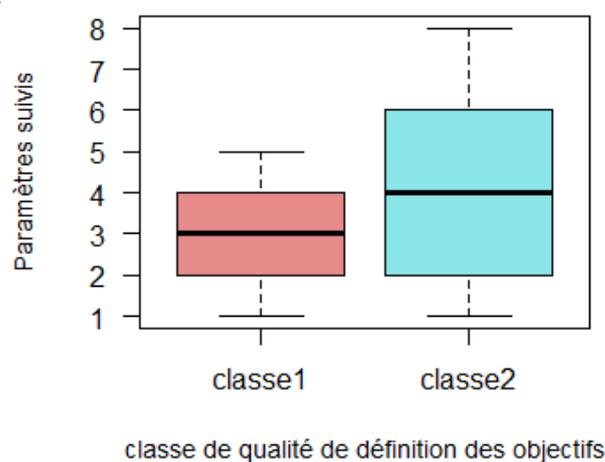


Figure 14 – Représentation du nombre de paramètres suivis lors d'un projet de restauration écologique en fonction de la qualité de définition des objectifs selon l'étude

¹⁹ Figures 9 bis, 10 bis, 11 bis, 12 bis, 13 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

Concernant la variable qualitative « succès de l'opération »²⁰ comportant trois classes (échec, en cours et succès), des boxplots et diagrammes en bâtons ont été réalisés. Par exemple, le boxplot donnant les coûts de suivis annuels en fonction du succès, le boxplot donnant le temps de suivi des projets en fonction du succès, et le diagramme donnant le succès par type d'habitats. Bien qu'intéressants, ces représentations sont peu robustes car tout d'abord la notion de succès est variable au regard des objectifs. De plus, la nature même de la restauration écologique, notamment des milieux littoraux et marins doit s'ancrer dans un temps long. Hors, de nombreuses actions recensées au cours de cette étude sont trop récentes et donc, nous avons décidé que de parler de succès dans le cadre de ce travail ne devait pas guider l'interprétation des résultats. Ainsi, ces figures se trouvent en annexe.

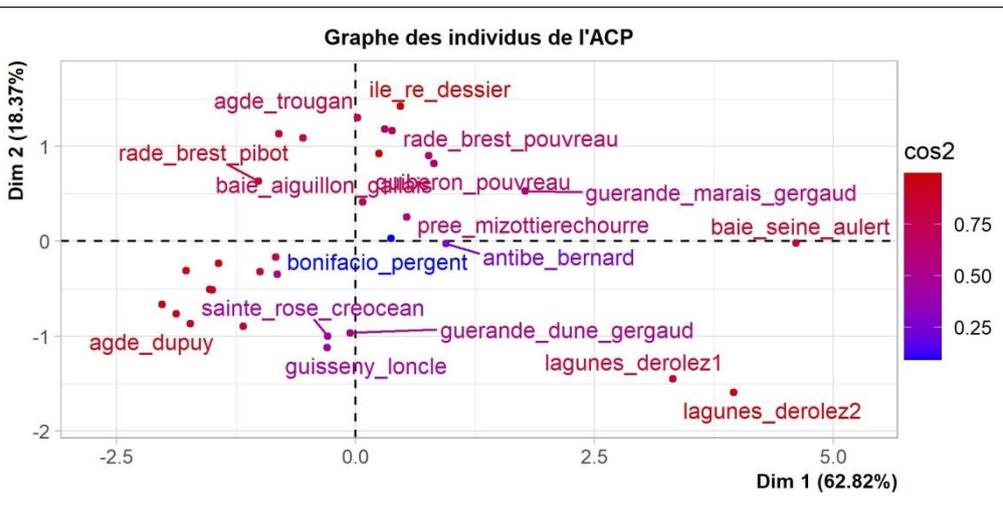


Figure 15 – Graphe des individus de l'ACP, colorés selon le \cos^2

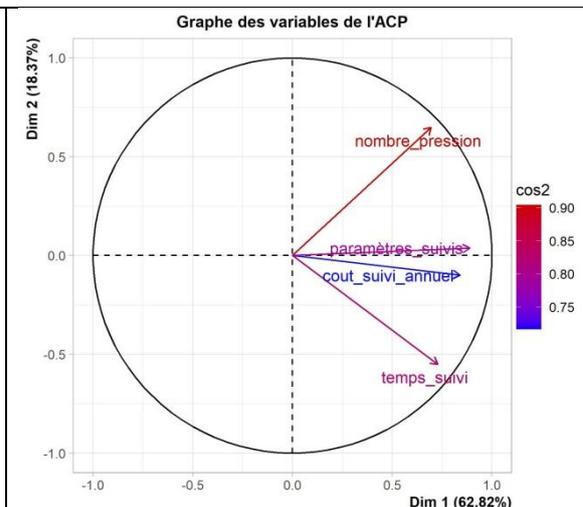


Figure 16 – Cercle de corrélation des variables de l'ACP colorées selon le \cos^2

Une ACP, puis une classification ascendante hiérarchique²¹ ont été réalisées selon les modalités expliqués dans le chapitre *matériel et méthodes*. Les résultats de cette analyse sont visibles sur les *figures 15, 16 et 17*. Les 2 premiers axes de l'analyse expliquent 81.19% de l'inertie totale du nuage de points. Le cercle des corrélations confirme que les variables coûts de suivi annuels et nombre de paramètres suivis sont très liées, comme déjà mis en évidence précédemment (*figure 13*). Le cercle de corrélation montre que les variables quantitatives sont corrélées avec les composantes principales, et peuvent donc contribuer à l'interprétation des positions des individus (les actions de restauration écologique).

Une classification hiérarchique permet de regrouper, au vu de nos 4 variables quantitatives, les individus en trois classes. La première classe (cluster 1 en noir sur la *figure 17*) correspond aux actions de restaurations écologiques où relativement peu de pressions ont été déterminées, peu de paramètres ont été suivis et les coûts de suivis sont faibles ; les temps de suivis ont également été courts. La deuxième classe (cluster 2 en rouge sur la *figure 17*) ressemble à cette première classe par ses temps de suivis également courts, mais se différencie par davantage de pressions anthropiques identifiées, et également des coûts de suivis plus élevés et un nombre de paramètres suivis plus importants, bien que cela soit moins probant. La troisième classe (cluster 3 en vert sur la *figure 17*) est constituée des actions ayant eu

²⁰ Figures 14 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

²¹ Figures 15 bis et 20 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

des coûts de suivis élevés, et beaucoup de paramètres suivis, ainsi que des temps de suivis longs, et beaucoup de pressions identifiées.

N.B. : La figure 17 bis en annexe représente les groupes issus de cette classification hiérarchique ascendante.

Une analyse de type ACM a également été réalisée (cf annexe²²).

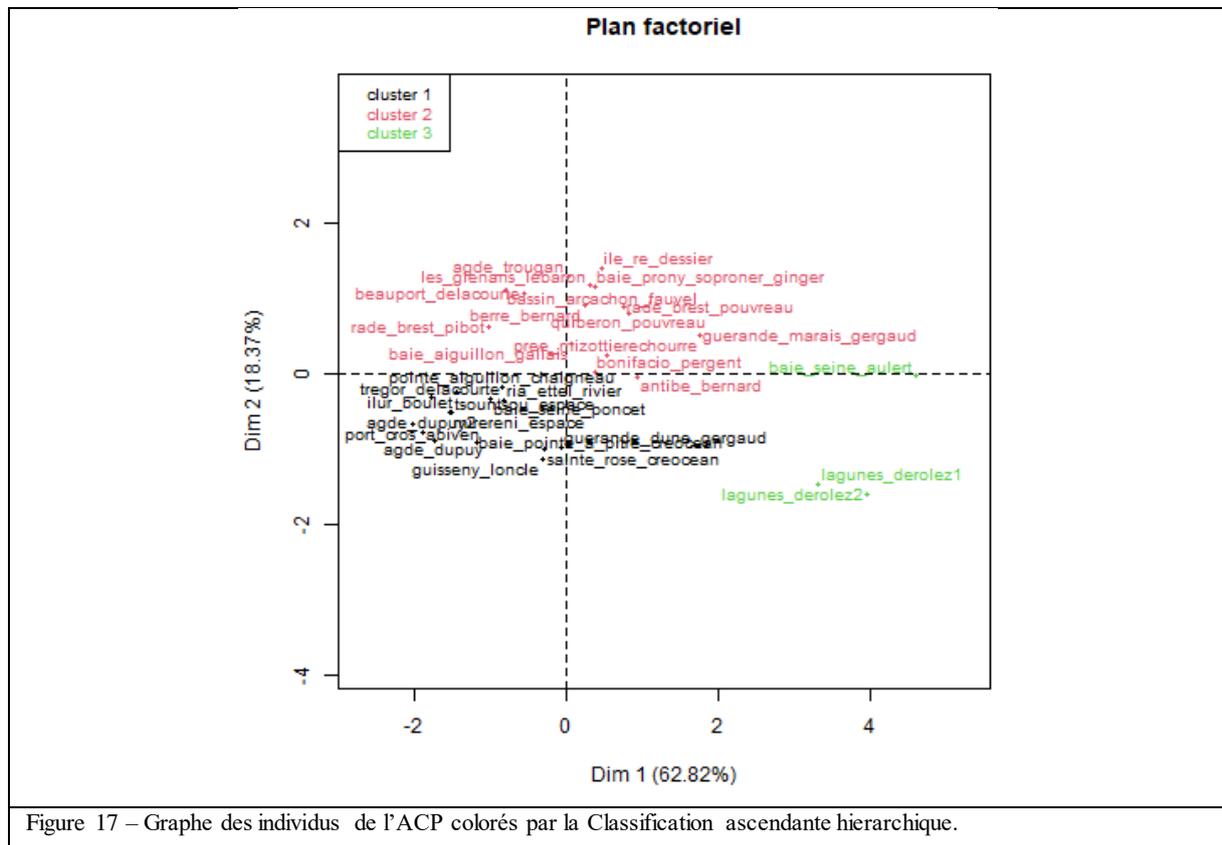


Figure 17 – Graphe des individus de l'ACP colorés par la Classification ascendante hiérarchique.

Discussion

Rappel : Ce travail de discussion s'est construit autour des informations référencées au sein de la synthèse bibliographique (cf annexe), de l'analyse des données issues des entretiens semi-directifs (chapitre III) Résultats, et des avis des participants aux RETEX.

Dans le monde, de plus en plus de gestionnaires de l'environnement pratiquent la restauration écologique afin de répondre à la problématique urgente de dégradations des écosystèmes, et de l'érosion de la biodiversité (Gann et al. 2019). La restauration des milieux terrestres est pratiquée depuis plus longtemps (Blignaut et al. 2013), et les prémices de la restauration écologique des milieux littoraux et marins se basent en partie sur les pistes jalonnées par les expériences terrestres. Cette thématique est en effet très récente en ce qui concerne les milieux littoraux et marins (Saunders et al. 2020). Cependant, bien que de nombreux projets de nature variée voient le jour depuis quelques années, les gestionnaires d'AMP en France sont relativement réticents concernant les actions de restauration écologique actives. Ces réticences s'expliquent par une peur d'altérer les écosystèmes présents, une mauvaise image de la

²² Figures 16 bis, 17 bis, 18 bis, 19 bis à consulter en annexe pour plus d'informations

compensation écologique, et également par une volonté de promouvoir la protection non-interventionniste des écosystèmes dans le but de l'atteinte du bon état écologique. L'argument économique n'est pas le premier invoqué, puisque de nombreuses sources de financements existent, notamment grâce aux fonds alloués par la commission Européenne (par exemple, projets LIFE, European Green Deal...), mais aussi nationaux (plan de relance post COVID,...). L'argument principal est donc davantage technique et éthique (Elliott et al. 2007). Toutefois, la littérature internationale nous indique que les projets de restauration écologique (passive et active) sont de plus en plus nombreux à être mis en œuvre. Les habitats les plus souvent restaurés sont, d'après les scientifiques et gestionnaires, ceux qui sont sujets à l'urgence d'agir, et qui sont suffisamment connus (SER). Il s'agit le plus souvent d'habitats biogéniques, tels que les récifs coralliens, les huîtres, ou encore les herbiers de phanérogames pour ne citer qu'eux. Les herbiers sont ainsi considérés en Europe comme l'un des habitats où se concentrent le plus d'expérimentations (Boudourseque et al. 2021). Notons que les huîtres sont également très étudiées, notamment sur la côte Atlantique Nord-Américaine (cf restoration guidelins for shellfish reef, UICN & SER 2019). Ce sont ces habitats qui, historiquement, ont fait l'objet d'études plus poussées. Les processus s'y déroulant sont en partie connus, ainsi que leurs fonctionnalités écologiques (Huston & Huston, 1994). Concernant l'habitat sableux, il est très peu documenté et a longtemps été délaissé à cause de l'impression de « désert » qu'il peut dégager. Il est pourtant l'habitat le plus dégradé en Méditerranée (Pioch et al. 2015). Enfin, Les coraux et les mangroves sont extrêmement étudiés sous les latitudes tropicales (et en Outre-Mer) (cf. *la réparation des récifs coralliens et des écosystèmes associés, IFRECOR, 2020*).

Il est nécessaire de garder en tête que toute opération de restauration écologique ne peut se faire que sur la base d'une connaissance détaillée de l'état écologique des populations naturelles, du milieu environnant et d'un diagnostic aussi précis que possible de leur état de santé (Boudouresque et al. 2021). Les petits fonds côtiers sont, en France et plus particulièrement en Méditerranée, extrêmement documentés (DRIVER, website Medtrix). Ils sont considérés sur cette façade comme étant l'habitat le plus dégradé avec les fonds sableux, à cause notamment de la pression anthropique d'aménagement. A l'échelle mondiale la destruction de ces habitats est considérée comme la première cause de perte de biodiversité sur la planète (Balmford et Bond, 2005).

Concernant les techniques de restauration écologique des milieux littoraux et marins, ces dernières sont très variables selon les pressions et les habitats considérés. Un des facteurs clé correspond à la structuration par la marée (cf *synthèse*). Cela explique les grandes différences notables entre les actions menées sur la façade Méditerranée, et les autres façades. La grande majorité des techniques de restauration active sont encore aujourd'hui de l'ordre de la recherche et du développement. Cependant, certaines de ces techniques peuvent être considérées comme opérationnelles (cf *synthèse*). Il est toutefois important de souligner qu'elles ne font pas l'unanimité pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'une des limites souvent mise en avant par certains scientifiques est le fait de ne cibler qu'une seule fonctionnalité écologique et de ne pas s'intéresser à l'écosystème dans son ensemble. Par exemple, concernant les structures artificielles dans les ports, seul le rétablissement de la fonction de nurserie est visé. Concernant les récifs artificiels, certains scientifiques critiquent le fait de remplacer un type de substrat au détriment d'un autre. Ainsi, même si la biodiversité est plus importante qu'initialement, elle n'est pas de la même nature. Ces types de structures sont également beaucoup utilisés comme mesures de compensation lors de la mise en œuvre de la séquence ERC. Quel que soit le type de restauration active

utilisé, la notion d'éco-responsabilité semble être de plus en plus débattue pour sa mise en œuvre et sa généralisation.

Notons enfin que le travail de synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence le caractère multi-factoriel de la restauration écologique. Des freins de nature scientifique, technique, socio-économique, juridique, administrative, politique s'entrelacent pour former un puzzle complexe, entravant la vitesse de progression de cette thématique. Dans ce contexte, Il nous a semblé essentiel de questionner les gestionnaires d'AMP et autres acteurs identifiés au moyen d'une enquête, afin de mieux caractériser ces freins et de capitaliser les retours d'expérience.

Le recueil des 32 expériences de restauration écologique en France a permis de mettre en lumière certains résultats intéressants. Cependant, il faut rappeler que ces données sont informatives, et correspondent à une image qui peut-être biaisée. Notons par exemple que, contrairement à ce qui ressort de la synthèse bibliographique, plus d'actions de restauration écologique ont été recueillies lors de l'enquête le long de la façade Atlantique, par rapport aux façades Méditerranéenne et en Outre-mer (*graphique secteur 5*).

Dans cette enquête, les grands types d'habitats restaurés sont variés : dunes, les habitats pélagiques, les herbiers, les huîtres, les forêts de macroalgues, les bancs de maërl, les marais salés, les prés salés, les vasières et en outre-mer, les mangroves et les récifs coralliens. Ces habitats sont assez représentatifs de ce que l'on peut retrouver dans la littérature. Il est toutefois important de mentionner que peu de RETEX concernant la restauration écologique d'habitats de récifs corallien et de mangroves ont été réalisés, au regard du très grand nombre d'opérations recensées lors de la synthèse bibliographique. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il a été complexe de joindre les gestionnaires d'AMP basés en Outre-mer. De plus, les PNM d'Outre-Mer n'ont pas mis en œuvre de mesures de restauration écologique actives. L'enquête n'a pas non plus permis de recueillir des RETEX de la restauration écologique d'habitats sableux, ce qui n'est pas surprenant au vu des pratiques internationales actuelles relativement rares. Cette situation devrait changer, étant donné que cet habitat fait l'objet d'une attention croissante. Une session dédiée lors du colloque DRIVER 2021 sur la restauration écologique des milieux littoraux et marins en Méditerranée lui a notamment été consacrée, et la question de sa restauration est également discutée au sein du réseau des PNM.

De même, seuls deux retours d'expérience (sur 32) ont été recueillis sur la restauration écologique des récifs biogéniques d'huîtres plates, alors que de nombreuses actions de restauration écologique de cet habitat ont été recensées lors de la synthèse bibliographique, notamment sur la côte Atlantique Nord-Américaine (cf synthèse). Le faible nombre d'actions de restauration écologique de cet habitat en France (synthèse bibliographique et RETEX) peut paraître surprenant, car ces restaurations sont peu coûteuses, relativement rapide à mettre en œuvre, techniquement accessibles. La mise en œuvre d'actions de restauration écologique de cet habitat pourrait ainsi permettre le retour de l'espèce en de nombreux sites historiquement riches en huître plate *Ostrea edulis*, incluant les peuplements et les fonctionnalités écologiques associées à ces récifs. En France, un projet (REEFOREST, Ifremer), actuellement en phase de discussion, pourrait bientôt faire suite au projet FOREVER²³ et sera probablement le vecteur de nombreux nouveaux projets de restauration de cette espèce dans le futur. Enfin, les RETEX recueillis

²³ <https://wwz.ifremer.fr/Espace-Presse/Communique-de-presse/L-huitre-plate-de-l-espoir-sous-la-coquille2#1>

lors de notre étude renforcent l'idée que de nombreux regards sont tournés actuellement vers la restauration écologique des herbiers (posidonies, zostères,...), avec 13 opérations sur 32 recensées. Cela vient souligner les attentes actuelles de la restauration écologique comme source de Solutions Fondées sur la Nature²⁴ (SFN) (Cohen-Shacham et al. 2019). Cela permet aussi d'expliquer que les herbiers soient représentés comme l'habitat soumis au plus grand nombre de pressions anthropiques, et également comme l'habitat restauré par les techniques les plus variées dans nos données RETEX.

Les retours d'expérience recueillis lors de cette étude illustrent le caractère récent de la restauration écologique des milieux littoraux et marins (*figure 2 et 3*). A ce titre, les restaurations les plus précoces ont touché des habitats d'herbier et de macroalgue. Cela est dû au fait que ces espèces ingénieuses ont bénéficiées de la restauration écologique de l'état chimique de l'eau concernant la lagune méditerranéenne de Thau dès 1990²⁵. Il est intéressant de noter que les vasières et les dunes ont été restaurées relativement tôt d'après les résultats. Ce n'est pas surprenant étant donné qu'il s'agit d'habitats « tampons » particuliers, qui héritent de caractéristiques physiques terrestres et marines et au rôle fonctionnel essentiel. Pour restaurer de tels habitats à l'interface terre-mer, les gestionnaires ont donc pu s'inspirer en partie de ce qui s'est fait pour des habitats terrestres, et ainsi les mettre en œuvre avant la restauration de la plupart des habitats marins, plus inaccessibles et moins connus (bayraktarov et al 2015). Quelques RETEX témoignent également du caractère relativement précoce de la restauration écologique des récifs coralliens, comme mis en exergue dans la littérature. Notons qu'une opération de restauration écologique dite passive en milieu marin a toutefois été réalisée dans les années 90, pour atténuer les effets de l'eutrophisation en lagune méditerranéenne. Les lagunes étant des milieux concentrant de nombreuses activités anthropiques, beaucoup d'individus en dépendent, et il n'est pas surprenant que des actions aient été menées relativement tôt sur les lagunes dégradées.

Les types de restauration écologique définis pour cette étude (cf *chapitre II Matériel et Méthodes*) se sont basés sur les définitions issues de la synthèse bibliographique. Les analyses statistiques indiquent une certaine disparité dans les techniques mises en œuvre pour restaurer les grands types d'habitats. Cependant, un « artefact » est présent sur ces données, car on pourrait penser que seuls les herbiers peuvent être restaurés à l'aide de nombreuses techniques de restauration. Or, il n'en est rien, d'après la bibliographie et les données recueillies oralement auprès des gestionnaires. Ce résultat témoigne uniquement de la sur-représentation des retours d'expérience sur ces habitats dans notre enquête.

D'après nos résultats, pour les actions « actives », les actions de réhabilitation sont les plus représentées (8 actions sur 32). Cela est expliqué par le fait que la définition même de la réhabilitation englobe davantage de possibilités, contrairement aux notions d'éradication, de réintroduction et de recréation.

Les retours d'expérience sur les actions de restauration strictement « passive » (8 actions sur 32) concernent des habitats variés, ce qui n'est pas surprenant au vu des informations collectées dans la synthèse. Cependant, les actions strictement « passives » sont parfois considérées comme des mesures de gestion par les gestionnaires. Ainsi, il est probable que certains acteurs de la restauration écologique n'aient pas répondu au questionnaire réalisé lors de cette étude, pensant que leurs actions sortaient du champ de l'étude. Cela met en avant le fait que le premier frein à l'opérationnalisation de la restauration écologique est sémantique.

²⁴ <https://ofb.gouv.fr/le-projet-life-integre-artisan>

²⁵ Restauration passive de la lagune nécessaire face à l'eutrophisation

L'analyse des données a permis de mettre en avant les 10 pressions anthropiques à l'origine des 32 projets de restauration écologique concernés. Cela ne signifie pas que ce sont les seules pressions qui s'exercent, ni que toutes ces pressions s'exercent de la même manière, et impactent à une même intensité les habitats concernés. La faible représentation de la pression de type « changements climatiques » dans nos RETEX par rapport à ce qui est identifié dans la littérature internationale peut être expliquée par la volonté des participants aux RETEX de mettre en avant le problème des pressions anthropiques plus directes. Les pressions de type « EEE » touchent, d'après nos résultats, davantage les milieux riches en végétaux (herbiers, prés salés, marais salés) car ils sont constitués d'espèces généralement très sensibles à la compétition interspécifique, et également à la prédation par broutage. La pression d'érosion du trait de côte va, quant à elle, être davantage spécifique aux habitats tampons entre terre et océan, et à la fois soumises aux activités humaines variées. Il s'agit des dunes et des mangroves dans notre étude. Ces résultats qui ressortent de l'analyse descriptive ne sont donc pas surprenants par rapport aux attendus. Le croisement des *figures 4, 5 et 6* permet de montrer que selon les pressions identifiées, différents types de restauration peuvent être mis en place, ce qui vient corroborer les informations collectées dans la synthèse. Contrairement à ce que l'on peut voir à l'international, les pressions de type aménagements (pression ciblée pour 5 RETEX sur 32), impliquent exclusivement la mise en œuvre d'action de restauration active, mises en œuvre dans la cadre de la séquence ERC. En effet, les habitats impactés par des projets d'aménagement sont parfois purement et simplement détruits et transplantés ailleurs. Des tentatives de renaturation peuvent également être mises en œuvre concernant les zones humides et les vasières à proximité de la zone touchée, dans des sites où ce type de restauration écologique est estimé comme bénéfique pour les fonctionnalités dégradées et les espèces dépendantes la zone où l'aménagement a été réalisé. En réalité, les aménagements sont l'une des causes principales de la dégradation des habitats, notamment des petits fonds côtiers. Bien que cette pression soit identifiée dans la littérature comme la première pression anthropique entraînant la mise en place de mesures restauratoires, il s'agit en général de mise en place de structures artificielles. Or, aucun RETEX concernant de tels projets n'a pu être réalisé lors de l'étude, notamment en raison du faible nombre de retours recueillis sur la façade méditerranéenne (*cf figure 3*).

Les leviers de financements mobilisés dans cette enquête révèlent que peu de projets semblent motivés par la mise en œuvre de la séquence ERC (5 sur 32). Cela peut s'expliquer par la difficulté légale de mettre en place de grands aménagements impactant la biodiversité dans les AMP, notamment dans les PNM, qui peuvent émettre des « avis conformes » ou des « avis simples »²⁶. Ces avis peuvent ainsi contraindre certains projets d'aménagement en aiguillant les prises de décisions des services déconcentrés de l'état (DREAL, DIRM, DDTM). Lorsque des projets d'aménagement sont autorisés, des mesures « compensatoires » peuvent être imposées au porteur du projet. Les financements privés impliqués peuvent alors être élevés afin d'atteindre la non perte de biodiversité nette, la non artificialisation nette, et d'assurer le support financier de suivis longs (*figure 9*).

Globalement, il semble que les coûts de suivis annuels soient très variables selon la nature des financeurs (*figure 7, 8 et 9*). Les fonds publics ont différentes origines. Certains projets sont financés dans le cadre

²⁶ Lorsqu'une activité est susceptible d'altérer de façon notable le milieu marin d'un parc naturel marin, l'autorisation à laquelle elle est soumise ne peut être délivrée que sur avis conforme de l'Office français de la biodiversité ou, sur délégation, du conseil de gestion du PNM. Dans tous les autres cas, le conseil de gestion peut être saisi pour un avis simple.

d'un contrat Natura 2000 par les services déconcentrés de l'État. Certains fonds sont issus de syndicats mixtes ou de municipalités, ou de communautés de communes, notamment lorsqu'il s'agit de mesures « passives ». Les Agences de l'Eau encouragent également les gestionnaires d'AMP à travers des financements parfois élevés (via des appels à projets, pour accompagner la mise en œuvre des politiques publiques qui vont dans le sens du bon état écologique et chimique des eaux). En Méditerranée notamment, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse est l'un des contributeurs à la fédération des acteurs du milieu marin (décideurs, gestionnaires, scientifiques, bureaux d'étude, porteurs de solutions techniques) autour de la restauration écologique des milieux littoraux (soutien à l'organisation des colloques annuels DRIVER par exemple) et apporte des soutiens financiers aux projets de restauration écologique. Enfin, en Méditerranée toujours, et dans le cadre du Plan d'action pour le milieu marin (PAMM), des Schémas Territoriaux de Restauration Écologique (STERE) sont mis en œuvre par le Pôle Mer Méditerranée, et financé par divers acteurs publics.²⁷ Ces fonds publics permettent la mise en œuvre de suivis annuels de l'ordre de quelques milliers d'euros en général, qui peuvent atteindre toutefois des sommes importantes dans certains cas particuliers de restauration « passive » comme dans l'exemple de la lutte contre l'eutrophisation de la lagune de Thau. Ce projet est plus ancien (1990) et a été motivé par différentes problématiques, initialement socio-économiques avant d'être considérées comme écologiques. Ce projet peut être considéré comme assez original dans son approche ce qui explique les dépenses publiques élevées pour les suivis. Les fonds issus de l'Europe permettent, par exemple via des projets LIFE, d'avoir des projets assez ambitieux sur des laps de quelques années. Globalement, il semblerait donc que la réglementation Européenne soit un bon levier, en France, à minima, pour la préservation et la restauration de nos milieux et leurs fonctionnalités associées.

Dans notre enquête, les coûts annuels de ces suivis semblent être liés parfois (sans réelle tendance exprimée) à la nature de l'habitat à restaurer (*figure 10*). Certains habitats, tels que les vasières, semblent être les plus coûteux à suivre. Cela peut être dû à la difficulté d'accès à ces milieux, et à leur nature lithologique très complexe, ainsi qu'à l'endofaune difficilement observable de ces milieux. Globalement au vu des données collectées, il est complexe à ce stade de statuer sur une réelle influence du type d'habitat et du type de restauration écologique réalisé sur les coûts annuels des suivis. Une grande variabilité dans la conception de ces projets, et le faible nombre de RETEX peuvent en effet en être la cause. Cependant, certaines analyses ont permis de mettre en évidence un lien fort entre le nombre de paramètres suivis et les coûts annuels de ces suivis, ce qui n'est pas surprenant car un nombre important de paramètres implique un protocole plus élaboré, davantage de mesures et de temps sur le terrain. De plus, il est intéressant et plutôt rassurant de voir que dans le pool de donnée RETEX ressort un impact positif des coûts de suivis sur l'atteinte des résultats écologiques. Ce résultat peut notamment témoigner que des objectifs bien définis et des suivis longs et rigoureux sont nécessaires pour montrer l'efficacité d'une action de restauration écologique. Cet impact positif n'est pas vérifié concernant l'atteinte des résultats socio-économique (*figure 11 et 12*). Cependant, étant donné que lors des RETEX, les résultats socio-économiques apparaissent comme secondaires dans les objectifs affichés du projet de restauration, le boxplot en *figure 12* n'est pas surprenant. Enfin, en liant les *figures 13 et 14*, on émet l'hypothèse que des objectifs bien définis impliquent également probablement des coûts de suivis annuels plus élevés (à habitat à restaurer identique, et type de restauration et levier de financement

²⁷ <http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/appel-a-projets-restauration-ecologique-r420.html>

identiques) ce qui n'est pas surprenant, et qui souligne le fait que des objectifs ambitieux nécessitent, pour les atteindre, la réalisation de suivis complets (notons que le facteur temps de suivi n'apparaît pas ici, malgré le fait qu'il soit essentiel).

Il ressort de l'ACP trois grands groupes d'action de restauration écologique (*figure 15, 16 17*) selon les variables « temps de suivis », « nombre de pressions identifiées », « coût de suivi annuel » et « paramètres suivis ». Cela permet d'estimer *a priori* que pour des actions de restauration qui sont mises en place pour pallier à un grand nombre de pressions anthropiques, le temps de suivi et le coût de suivi annuel sont plus élevés, ce qui va dans le sens de la littérature et des discussions avec les gestionnaires. Les données explorées nous permettent également de valider certains concepts issus de la synthèse bibliographique (*graphiques secteurs 3,4 et 6*). En effet, comme attendu, les projets de restauration sont conceptualisés la plupart du temps dans un but de transposition à d'autres zones. L'animation auprès des acteurs du territoire (décideurs, socio-professionnels, gestionnaires, associations...) est une étape souvent mise en œuvre, sans surprise car ses bénéfices sont bien connus. Enfin, la notion d'éco-conception et de « solutions fondées sur la nature » semble prégnante et de plus en plus incluse dans les débats. Ces trois derniers points viennent confirmer les théories issues de la synthèse bibliographique.

Globalement, les résultats des données d'enquête sont cohérents et viennent compléter le travail de synthèse bibliographique réalisé en amont. Les retours d'expérience recueillis ne sont cependant pas représentatifs de l'avis de l'ensemble des porteurs projets d'actions de restauration réalisées en France, et n'ont pas vocation à être généralisés. Notamment, les variables en lien avec le fonctionnement des écosystèmes ou les pressions anthropiques ciblées par exemple (pressions visées par l'action de restauration, succès de l'action...) sont issues des réponses au questionnaire et non d'une analyse scientifique approfondie. Ces informations pourront cependant être capitalisées au sein de la communauté de gestionnaires du milieu marin afin de les orienter dans leurs actions de restauration écologique.

Ce travail a notamment éclairé la question de la nature des financements mobilisables sur les territoires. Notons cependant qu'il aurait été intéressant de mieux caractériser la variable du coût total de l'action (cf chapitre Matériel et Méthodes), pour qu'elle soit exploitable. De plus, il serait intéressant de réaliser le même travail dans quelques années, lorsque la plateforme RETEX actuellement en construction aura été alimentée, pour avoir plus de données, et pour comparer les tendances entre les deux analyses statistiques, et induire une variable temps.

La thématique de la restauration écologique reste à ce jour une thématique complexe, et dont l'évolution est entravée par de nombreux freins. Certains de ces freins ont pu être mis en avant et discutés avec les acteurs de la restauration écologique lors des RETEX. Certaines hypothèses et pistes ont pu être évoquées, notamment concernant les freins scientifiques et techniques.

Le premier frein est d'ordre sémantique. Tout d'abord, il est nécessaire de réaliser un « défrichage » des terminologies et de partager un vocabulaire commun autour de la notion de restauration écologique, notamment au sein de la communauté des gestionnaires des milieux littoraux et marins. A ce jour, en France, et même à l'étranger, trop de termes existent, notamment concernant les types de restauration écologique, et les termes mêmes de restauration active et passive. De plus, l'intérêt du terme de restauration passive est souvent débattu et confronté à la définition de la gestion des milieux naturels. Ces ambiguïtés sont probablement responsables en partie de la réticence des gestionnaires et acteurs de

la préservation des milieux à la mise en œuvre d'actions de restauration écologique. Pour ce travail, nous avons pris la décision de définir les termes dans la synthèse et en amont de chaque RETEX, mais ces termes ne font pas consensus sur la scène nationale.

Le second frein est d'ordre méthodologique. Pour conduire une action de restauration écologique, il convient de respecter un cadre bien défini. Les objectifs de la restauration écologique doivent en particulier être définis précisément, en incluant le dimensionnement de l'opération, la caractérisation des pressions anthropiques et leur intensité, les habitats et les fonctionnalités concernés. Les écosystèmes de référence sont également peu documentés, et correspondent souvent simplement à l'« écosystème considéré avant que les pressions anthropiques entraînent sa dégradation ». Il est nécessaire également de faire attention si de nouveaux objectifs se dessinent au cours du projet, car ces derniers ne doivent pas entraver le but premier de l'action. *In fine* la mauvaise définition des objectifs empêche l'évaluation des opérations de restauration. D'un point de vue purement scientifique, il est essentiel, lors de tout projet de recherche, de comparer la récupération d'un écosystème seul (« résilience naturelle ») à celle de l'écosystème restauré avec toute technique dont on souhaite étudier l'efficacité et l'intérêt. L'utilisation des bases de données existantes²⁸ et des données issues des réseaux de surveillance des écosystèmes marins peuvent permettre d'accroître la connaissance de ces milieux. En retour, il est nécessaire pour les gestionnaires de conserver et banqueriser les données acquises lors de restaurations écologiques, même en cas d'échec de l'opération, afin d'alimenter ces bases de données et étoffer les connaissances. Il pourrait être intéressant notamment de réaliser, à l'instar du réseau « site de démonstration »²⁹ piloté par l'OFB, un réseau de sites marins afin de développer la connaissance de cette thématique.

Le troisième frein est d'ordre éthique. Concernant le cadre de la séquence ERC, plusieurs facteurs inquiètent les gestionnaires d'AMP. Tout d'abord, lorsque de la compensation est nécessaire, on sait ce qui va être détruit, mais on ne pourra jamais prévoir ce qu'on va réussir à compenser, même en utilisant des outils de modélisations pointus. En général, seule une réparation partielle des écosystèmes dégradés est possible (Aronson et Morenos-Mateos, 2015). Il est nécessaire, lorsque l'on fait de la restauration écologique, de s'interroger sur cela, et de dresser un code de bonne conduite (Boudouresque et al. 2021) qui permet d'éviter le syndrome de la « restauration alibi »³⁰. Il faut donc favoriser dans ces cas-là l'Évitement puis la Réduction à tout prix, car la compensation ne permettra pas d'atteindre les objectifs, rendant les efforts de restaurations écologiques caduques.

Le quatrième frein est de l'ordre organisationnel. Il est nécessaire de travailler le plus possible au sein de réseaux constitués de tous les acteurs impliqués (de scientifiques, de gestionnaires, d'acteurs socio-professionnels...) afin de mutualiser les compétences, et les moyens. Les citoyens, notamment les usagers, doivent pouvoir être impliqués, et sensibilisés à ces mesures sous peine de ne pas les comprendre et de ne pas les accepter.

Outre ces freins, il est nécessaire de suivre un fil directeur essentiel : En restauration écologique, il faut avoir une approche écosystémique. Bien que cela soit très complexe, on ne peut pas isoler une fonctionnalité ou un compartiment et travailler dessus. Enfin, notons l'importance de prendre

²⁸ Ex : Quadrigue, Sextant, SURVAL, la base de données du GIPREB...

²⁹ <https://professionnels.ofb.fr/node/358>

³⁰ Le terme de restauration « alibi » désigne le fait d'utiliser la restauration écologique pour justifier des aménagements ou des pratiques endommageant l'environnement, sous prétexte que l'on peut la compenser par la restauration écologique.

constamment un certain recul lors de la mise en œuvre de la restauration écologique, quels que soient le milieu d'action concernés, et les pressions identifiées, et d'analyser la balance coût/bénéfice de tout projet, qui doit guider les gestionnaires d'AMP dans les schémas décisionnels à suivre.

Conclusion

Ce travail a permis d'appréhender certaines facettes de la thématique de la restauration écologique (RE) des milieux littoraux et marins. Outre l'apport des RETEX pour la capitalisation des connaissances à travers la réalisation d'une plateforme, ce travail a permis de dresser un état de l'art du sujet et de confronter ce dernier aux données collectées lors de RETEX. En plus de ces données RETEX, de nombreuses informations ont pu être échangées avec les divers acteurs de la RE en France. Le croisement de ces trois types de données ont permis de répondre à certaines des questions adressées dans ce stage (cf. *chapitre introduction*). Les objectifs de ce rapport ont cependant été assez ambitieux, et n'ont pas permis d'étayer certains freins qui affectent la RE sur notre territoire. Les freins/verrous socio-économiques notamment, ainsi que les freins/verrous administratifs, juridiques et politiques auraient gagnés à être traités au même titre que les freins/verrous techniques et scientifiques, qui eux, ont pu être discutés (cf. *chapitre discussion*). Ce travail multifactoriel est essentiel, car la mise en place de la RE et son efficacité en dépend. Les RETEX ont permis d'avoir une image descriptive à un instant t qui témoigne de l'état de cette thématique récente en France : Les résultats de l'enquête conduite montrent que la RE en France est disparate en termes de localisation, de temps de suivis, d'habitats/fonctionnalités/espèces à restaurer, de pression et d'enjeux... Mais certains consensus forts l'encadrent tout de même : la restauration écologique active n'est jamais « obligatoire » à proprement parler, et les gestionnaires ne devraient se lancer dans de telles opérations que lorsqu'elles sont nécessaires, et avec un ratio coût/bénéfice qui ait du sens.

Malgré-tout, la protection, la gestion (incluant la RE passive) et la RE active sont aujourd'hui essentielles pour l'atteinte de Bon État Écologique (BEE) défini par la DCSMM en 2008. Au regard des changements climatiques et de l'importance capitale de développer un système qui y est résilient (gestion intégrée de la zone côtière notamment), ces actions peuvent par exemple être conçues dans une optique de « Solutions Fondées sur la Nature ³¹ » (SFN). Il est toutefois nécessaire de créer des garde-fous pour ces solutions, ainsi que pour la mise en œuvre de la séquence ERC et de jalonner les projets de codes de bonne conduite, à l'instar de celui étagé dans Boudouresque et al. 2021.

De plus, dans une optique de développement durable, et face aux ambitions affichées de lutte contre le réchauffement climatique et ses effets, l'ONU a déclaré cette décennie comme étant celle de la restauration écologique³² (2021-2030). Il est probable que cette décennie particulière bénéficie également au pan marin et littoral de la thématique, en mobilisant davantage d'acteurs, et en participant à la mise en lumière des problématiques qui y sont sous-jacentes. Il est en effet urgent, au regard du dernier rapport du GIEC (GIEC, 2020, 2021) de se donner les moyens de nos ambitions concernant la réduction des impacts anthropiques et la réversion de leurs effets : la préservation des écosystèmes littoraux et marins ne sera pas suffisante pour enrayer les changements globaux en cours, et ne pourra pallier seule à la perte en biodiversité et en fonctionnalités écosystémiques. Il est nécessaire d'inverser cette tendance. Il est donc probable et souhaitable que, dans un avenir proche, la restauration écologique voit ses verrous et freins se lever progressivement pour devenir l'un des leviers incontournables³³ de l'enrayement de la forte érosion de la biodiversité.

³¹ <https://www.decadeonrestoration.org/fr>

³² Complémentarité des leviers : la restauration seule ne sera jamais salvatrice mais en préservant (réglementation, AMP...), en restaurant là où c'est possible les résultats peuvent être potentiellement intéressants

Bibliographie

- ⁱⁱⁱAbelson, Avigdor, Benjamin S. Halpern, Daniel C. Reed, Robert J. Orth, Gary A. Kendrick, Michael W. Beck, Jonathan Belmaker, et al. « Upgrading Marine Ecosystem Restoration Using Ecological-Social Concepts ». *Bioscience* 66, n° 2 (1 février 2016): 156-63. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv171>.
- Aronson, James, Andre Clewell, et David Moreno-Mateos. « Ecological Restoration and Ecological Engineering: Complementary or Indivisible? » *Ecological Engineering* 91 (1 juin 2016): 392-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.043>.
- Balmford, Andrew, et William Bond. « Trends in the State of Nature and Their Implications for Human Well-Being ». *Ecology Letters* 8, n° 11 (2005): 1218-34. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00814.x>.
- Bayraktarov, Elisa, Megan Saunders, Sabah Abdullah, Morena Mills, Jutta Beher, Hugh Possingham, Peter Mumby, et Catherine Lovelock. « The cost and feasibility of marine coastal restoration ». *Ecological Applications*, 14 novembre 2015. <https://doi.org/10.1890/15-1077.1>.
- Bayraktarov, Elisa, Megan I. Saunders, Sabah Abdullah, Morena Mills, Jutta Beher, Hugh P. Possingham, Peter J. Mumby, et Catherine E. Lovelock. « The Cost and Feasibility of Marine Coastal Restoration ». *Ecological Applications* 26, n° 4 (2016): 1055-74. <https://doi.org/10.1890/15-1077>.
- Bigard, Charlotte, Baptiste Regnery, Sylvain Pioch, et John D. Thompson. « De la théorie à la pratique de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC) : éviter ou légitimer la perte de biodiversité ? » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, n° Vol. 9, n°1 (30 mars 2018). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.12032>.
- Blignaut, James, Karen J Esler, Martin P de Wit, David Le Maitre, Suzanne J Milton, et James Aronson. « Establishing the Links between Economic Development and the Restoration of Natural Capital ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Terrestrial systems, 5, n° 1 (1 mars 2013): 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.003>.
- Borja, Angel, Javier Franco, et Víctor Perez Landa. « A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments ». *Marine Pollution Bulletin* 40 (1 décembre 2000): 1100-1114. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8).
- Boudouresque, Charles-François, Aurélie Blanfuné, Gérard Pergent, et Thierry Thibaut. « Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues ». *Water* 13, n° 8 (janvier 2021): 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>.
- Capderrey C. (2019)- Outils mobilisables pour la restauration écologique en milieu estuarien. BRGM/RP-67498-FR, 203 p., 48 fig., 8 tabl.
- Clare, Shari, Naomi Krogman, Lee Foote, et Nathan Lemphers. « Where Is the Avoidance in the Implementation of Wetland Law and Policy? » *Wetlands Ecology and Management* 19, n° 2 (avril 2011): 165-82. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9209-3>.
- . « Where Is the Avoidance in the Implementation of Wetland Law and Policy? » *Wetlands Ecology and Management* 19, n° 2 (avril 2011): 165-82. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9209-3>.
- Clewell, Andre, et James Aronson. « The SER Primer and Climate Change ». *Ecological Management & Restoration* 14, n° 3 (2013): 182-86. <https://doi.org/10.1111/emr.12062>.
- Cohen-Shacham, Emmanuelle, Angela Andrade, James Dalton, Nigel Dudley, Mike Jones, Chetan Kumar, Stewart Maginnis, et al. « Core Principles for Successfully Implementing and Upscaling Nature-Based Solutions ». *Environmental Science & Policy* 98 (1 août 2019): 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>.
- Colsoul, Bérenger, Stéphane Pouvreau, Carole Di Poi, Simon Pouil, Verena Merk, Corina Peter, Maarten Boersma, et Bernadette Pogoda. « Addressing Critical Limitations of Oyster (*Ostrea Edulis*) Restoration: Identification of Nature-based Substrates for Hatchery Production and Recruitment in the Field ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30, n° 11 (novembre 2020): 2101-15. <https://doi.org/10.1002/aqc.3454>.

- Danovaro, Roberto, Emanuela Fanelli, Jacopo Aguzzi, David Billett, Laura Carugati, Cinzia Corinaldesi, Antonio Dell'Anno, et al. « Ecological Variables for Developing a Global Deep-Ocean Monitoring and Conservation Strategy ». *Nature Ecology & Evolution* 4, n° 2 (février 2020): 181-92. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1091-z>.
- De Wit, Rutger, Amandine Leruste, Ines Le Fur, Mariam Maki Sy, Béatrice Bec, Vincent Ouisse, Valérie Derolez, et Hélène Rey-Valette. « A Multidisciplinary Approach for Restoration Ecology of Shallow Coastal Lagoons, a Case Study in South France ». *Frontiers in Ecology and Evolution* 8 (20 mai 2020): 108. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00108>.
- Derolez, Valérie, Béatrice Bec, Dominique Munaron, Annie Fiandrino, Romain Pete, Monique Simier, Philippe Souchu, Thierry Laugier, Catherine Aliaume, et Nathalie Malet. « Recovery Trajectories Following the Reduction of Urban Nutrient Inputs along the Eutrophication Gradient in French Mediterranean Lagoons ». *Ocean & Coastal Management* 171 (avril 2019): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.012>.
- Derolez, Valérie, Dominique Soudant, Nathalie Malet, Claude Chiantella, Marion Richard, Eric Abadie, Catherine Aliaume, et Béatrice Bec. « Two Decades of Oligotrophication: Evidence for a Phytoplankton Community Shift in the Coastal Lagoon of Thau (Mediterranean Sea, France) ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 241 (août 2020): 106810. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106810>.
- Dobson, Andy, David Lodge, Jackie Alder, Graeme Cumming, Juan Keymer, Jacqueline McGlade, Hal Mooney, et al. « Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services ». *Ecology* 87 (1 septembre 2006): 1915-24. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1915:HLTCAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1915:HLTCAT]2.0.CO;2).
- Doherty, P. J., V. Dufour, R. Galzin, M. A. Hixon, M. G. Meekan, et S. Planes. « High Mortality During Settlement Is a Population Bottleneck for a Tropical Surgeonfish ». *Ecology* 85, n° 9 (2004): 2422-28. <https://doi.org/10.1890/04-0366>.
- Duarte, Carlos M., Iñigo J. Losada, Iris E. Hendriks, Inés Mazarrasa, et Núria Marbà. « The Role of Coastal Plant Communities for Climate Change Mitigation and Adaptation ». *Nature Climate Change* 3, n° 11 (novembre 2013): 961-68. <https://doi.org/10.1038/nclimate1970>.
- Edwards, M., A. W. G. John, H. G. Hunt, et J. A. Lindley. « Exceptional Influx of Oceanic Species into the North Sea Late 1997 ». *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 79, n° 4 (août 1999): 737-39. <https://doi.org/10.1017/S0025315498000885>.
- Eidens, Corvin, Torsten Hauffe, Elisa Bayraktarov, Christian Wild, et Thomas Wilke. « Multi-scale processes drive benthic community structure in upwelling-affected coral reefs ». *Frontiers in Marine Science* 2 (2015): 2. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00002>.
- Elliott, Michael, et Victor Quintino. « The Estuarine Quality Paradox, Environmental Homeostasis and the Difficulty of Detecting Anthropogenic Stress in Naturally Stressed Areas ». *Marine Pollution Bulletin* 54, n° 6 (1 juin 2007): 640-45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.003>.
- Ermgassen, Philine S. E. zu, Kruno Bonačić, Pierre Boudry, Cass A. Bromley, Tom C. Cameron, Bérenger Colsohl, Joop W. P. Coolen, et al. « Forty Questions of Importance to the Policy and Practice of Native Oyster Reef Restoration in Europe ». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30, n° 11 (novembre 2020): 2038-49. <https://doi.org/10.1002/aqc.3462>.
- Gaines, Steven D., Crow White, Mark H. Carr, et Stephen R. Palumbi. « Designing Marine Reserve Networks for Both Conservation and Fisheries Management ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, n° 43 (26 octobre 2010): 18286-93. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906473107>.
- Gann, George D., Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson, Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett, et al. « International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration ». *Restoration Ecology*. 27(S1): S1-S46. 27, n° S1 (2019): S1-46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Gattuso, Jean-Pierre, Alexandre K. Magnan, Laurent Bopp, William W. L. Cheung, Carlos M. Duarte, Jochen Hinkel, Elizabeth Mcleod, et al. « Ocean Solutions to Address Climate Change and Its Effects on Marine Ecosystems ». *Frontiers in Marine Science* 5 (2018): 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00337>.

- Hawkins, Bradford A., et José Alexandre Felizola Diniz-Filho. « 'Latitude' and Geographic Patterns in Species Richness ». *Ecography* 27, n° 2 (2004): 268-72. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03883.x>.
- Hughes, Terence, Nicholas Graham, Jeremy Jackson, Peter Mumby, et Robert Steneck. « Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience ». *Trends in ecology & evolution* 25 (1 novembre 2010): 633-42. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.011>.
- Kareiva, Peter, Heather Tallis, Taylor H. Ricketts, Gretchen C. Daily, et Stephen Polasky, éd. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford: Oxford University Press, 2011. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199588992.001.0001>.
- LA RIVIERE, Marie, Noémie Michez, Annabelle Aish, Denise Bellan-Santini, Gérard Bellan, Pierre Chevaldonne, Jean-Claude Dauvin, et al. « Évaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques ». Research Report. MNHN, 2016. <https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/hal-02047832>.
- Le Fur, I, R De Wit, M Plus, J Oheix, V Derolez, M Simier, N Malet, et V Ouisse. « Re-Oligotrophication Trajectories of Macrophyte Assemblages in Mediterranean Coastal Lagoons Based on 17-Year Time-Series ». *Marine Ecology Progress Series* 608 (3 janvier 2019): 13-32. <https://doi.org/10.3354/meps12814>.
- Le Fur, Ines, Rutger De Wit, Martin Plus, Jocelyne Oheix, Monique Simier, et Vincent Ouisse. « Submerged Benthic Macrophytes in Mediterranean Lagoons: Distribution Patterns in Relation to Water Chemistry and Depth ». *Hydrobiologia* 808, n° 1 (février 2018): 175-200. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3421-y>.
- Leruste, A., N. Malet, D. Munaron, V. Derolez, E. Hatey, Y. Collos, R. De Wit, et B. Bec. « First Steps of Ecological Restoration in Mediterranean Lagoons: Shifts in Phytoplankton Communities ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 180 (octobre 2016): 190-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.06.029>.
- Lotze, Heike K., Hunter S. Lenihan, Bruce J. Bourque, Roger H. Bradbury, Richard G. Cooke, Matthew C. Kay, Susan M. Kidwell, Michael X. Kirby, Charles H. Peterson, et Jeremy B. C. Jackson. « Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas ». *Science*, 23 juin 2006. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1128035>.
- M.A. Huston Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes, xix, 681 p. Cambridge University Press, 1994. Price £60.00. (1995). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 75(1), 261-261. doi:10.1017/S0025315400015393
- Mengerink, Kathryn J., Cindy L. Van Dover, Jeff Ardron, Maria Baker, Elva Escobar-Briones, Kristina Gjerde, J. Anthony Koslow, et al. « A Call for Deep-Ocean Stewardship ». *Science*, 16 mai 2014. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1251458>.
- Nes, Egbert H. van, et Marten Scheffer. « Slow Recovery from Perturbations as a Generic Indicator of a Nearby Catastrophic Shift ». *The American Naturalist* 169, n° 6 (juin 2007): 738-47. <https://doi.org/10.1086/516845>.
- Pastor, A. V., F. Ludwig, H. Biemans, H. Hoff, et P. Kabat. « Accounting for Environmental Flow Requirements in Global Water Assessments ». *Hydrology and Earth System Sciences* 18, n° 12 (11 décembre 2014): 5041-59. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5041-2014>.
- Pioch, Sylvain, Harold Levrel, Julien Hay, Nathalie Frascaria-Lacoste, et Gilles Martin. *Restaurer la nature pour atténuer les impacts du développement: Analyse des mesures compensatoires pour la biodiversité*. Quae, 2015.
- Pogoda, Bernadette, Janet Brown, Boze Hancock, Joanne Preston, Stephane Pouvreau, Pauline Kamermans, William Sanderson, et Henning von Nordheim. « The Native Oyster Restoration Alliance (NORA) and the Berlin Oyster Recommendation: bringing back a key ecosystem engineer by developing and supporting best practice in Europe ». *Aquatic Living Resources* 32 (2019): 13. <https://doi.org/10.1051/alr/2019012>.
- Possingham, Hugh P., Michael Bode, et Carissa J. Klein. « Optimal Conservation Outcomes Require Both Restoration and Protection ». *PLOS Biology* 13, n° 1 (27 janvier 2015): e1002052. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002052>.
- Potet, Marine, Aurélie Fabien, Samuel Chaudemanche, Nassim Sebaibi, Théo Guillet, Sonia Gachelin, Hélène Cochet, Mohamed Boutouil, et Stéphane Pouvreau. « Which Concrete Substrate Suits

- You? *Ostrea Edulis* Larval Preferences and Implications for Shellfish Restoration in Europe ». *Ecological Engineering* 162 (avril 2021): 106159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106159>.
- Pouvreau, Stephane, Hélène Cochet, Florian Bargat, Sebastien Petton, Valerian Le Roy, Theo Guillet, et Marine Potet. « Current distribution of the residual flat oysters beds (*Ostrea edulis*) along the west coast of France ». SEANOE, 2021. <https://doi.org/10.17882/79821>.
- Pouvreau, Stephane, Hélène Cochet, Aurélie Fabien, Isabelle Arzul, Sylvie Lapegue, Sonia Gachelin, et Benoit Salaun. *Inventaire, diagnostic écologique et restauration des principaux bancs d'huitres plates en Bretagne : le projet FOREVER*. Ifremer, 2021. <https://doi.org/10.13155/79506>.
- Regnery, Julia, Jonghyun Lee, Peter Kitanidis, Tissa Illangasekare, Jonathan O. Sharp, et Jörg E. Drewes. « Integration of Artificial Recharge and Recovery Systems for Impaired Water Sources in Urban Settings: Overcoming Current Limitations and Engineering Challenges ». *Environmental Engineering Science* 30, n° 8 (1 août 2013): 409-20. <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0186>.
- Saunders, Megan I., Christopher Doropoulos, Elisa Bayraktarov, Russell C. Babcock, Daniel Gorman, Aaron M. Eger, Maria L. Vozzo, et al. « Bright Spots in Coastal Marine Ecosystem Restoration ». *Current Biology* 30, n° 24 (décembre 2020): R1500-1510. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.056>.
- Vanderklift, Mathew A., Christopher Doropoulos, Daniel Gorman, Inês Leal, Antoine J. P. Minne, John Statton, Andrew D. L. Steven, et Thomas Wernberg. « Using Propagules to Restore Coastal Marine Ecosystems ». *Frontiers in Marine Science* 7 (2020): 724. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00724>.
- Walker, Brian, C. S. Holling, Stephen Carpenter, et Ann Kinzig. « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems ». *Ecology and Society* 9, n° 2 (16 septembre 2004). <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>.
- Walker, Brian, C.s Holling, Stephen Carpenter, et Ann Kinzig. « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems ». *Ecol. Soc.* 9 (30 novembre 2003). <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>.
- Waycott, Michelle, Carlos M. Duarte, Tim J. B. Carruthers, Robert J. Orth, William C. Dennison, Suzanne Olyarnik, Ainsley Calladine, et al. « Accelerating Loss of Seagrasses across the Globe Threatens Coastal Ecosystems ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, n° 30 (28 juillet 2009): 12377-81. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>.
- . « Accelerating Loss of Seagrasses across the Globe Threatens Coastal Ecosystems ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, n° 30 (28 juillet 2009): 12377-81. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>.
- White, Peter, et Joan Walker. « Approximating Nature's Variation: Selecting and Using Reference Information in Restoration Ecology ». *Restoration Ecology - RESTOR ECOL* 5 (1 décembre 1997): 338-49. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1997.00547.x>.

Thèses

Céline Jacob. Approche géographique de la compensation écologique en milieu marin : analyse de l'émergence d'un système de gouvernance environnementale. Géographie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2017. Français. NNT : 2017MON30001. tel-01553076

Marc Bouchoucha. Les zones portuaires peuvent-elles servir de nourriceries alternatives pour les poissons marins côtiers ? : cas des sars en Méditerranée Nord-occidentale. Océan, Atmosphère. Université de Perpignan, 2017. Français. NNT : 2017PERP0046. tel-01710018

Manon Mercader. Rôle des infrastructures portuaires dans le maintien des populations de poissons

côtiers : apports de la restauration écologique. Océan, Atmosphère. Université de Perpignan, 2018. Français. NNT : 2018PERP0027. tel-01955161

Autres Ouvrages

Cécile Capderrey, Jean-Michel Olivier, Stéphanie Moussard, Valérie Foussard, Nicolas Bacq , 2016

Monitoring and appraisal In: Perrow MR, Davy AJ, editors. Handbook of ecological restoration. Volume 1: principles of restoration

Autres

Guide cadre EVAL_IMPACT, 2018).

<http://journals.openedition.org/developpementdurable/17488>
https://www.amp.milieuamfrance.fr/accueil_fr/chiffres_cles

<http://www.genieecologique.fr/>

<https://professionnels.ofb.fr/fr/home>

<https://www.life-marha.fr/>

<https://dcsmm.milieuamfrance.fr/>

<https://www.decadeonrestoration.org/fr>

GIEC : 2020,2021

cf restoration guidelins for shellfish reef, UICN & SER 2019

DRIVER 2021 sur la restauration écologique des milieux littoraux et marins en Méditerranée

PAMM 2016 2021

<https://catalogueindicateursamp.ofb.fr/indicateurs>

<http://www.rebent.org/cartographie/> (EUNIS ; anciennement : code CORINE BIOTOPES)

https://inpn.mnhn.fr/habitat/cd_typo/46

<https://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentiels/habitats/typologies#habMarinMetro>

Annexe

La synthèse bibliographique, la fiche RETEX type, le tableau des données brutes RETEX ainsi que les lignes de codes ayant permis d'analyser les données brutes sur R (cf. chapitre *Matériel et méthodes*) sont disponibles sur le lien suivant (la bibliographie est identique) :

https://drive.google.com/drive/folders/1eS99auYMnBuYJ8Fhy7c4ES_fIY1tLDSw?usp=sharing

Tableaux 1 – Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Mot clé français	Mot clé anglais
restauration	restoration
écologique	ecological
marine	marine
côtière	coastal
littoral	littoral
haute mer	deep sea
active/passive	active/passive

Mot clé français	Mot clé anglais
fonctionnalité	functionality
fonction	function
réhabilitation	rehabilitation
réaffectation	reallocation
recréation	recreation
connectivité	connectivity

Mot clé français	Mot clé anglais
vasière	mudflat
marais salés	saltmarsh
herbier	seagrass meadow
algueraie	algal forest
forêt de varech	kelp forest
récif corallien	coral reef

Mot clé français	Mot clé anglais
fond sableux	sandy bottom
petit fond rocheux	shallow rocky bottom
mangrove	mangrove
récif artificiel	artificial reef
récif biogénique	biogenic reef
récif coquillier	shellfish reef

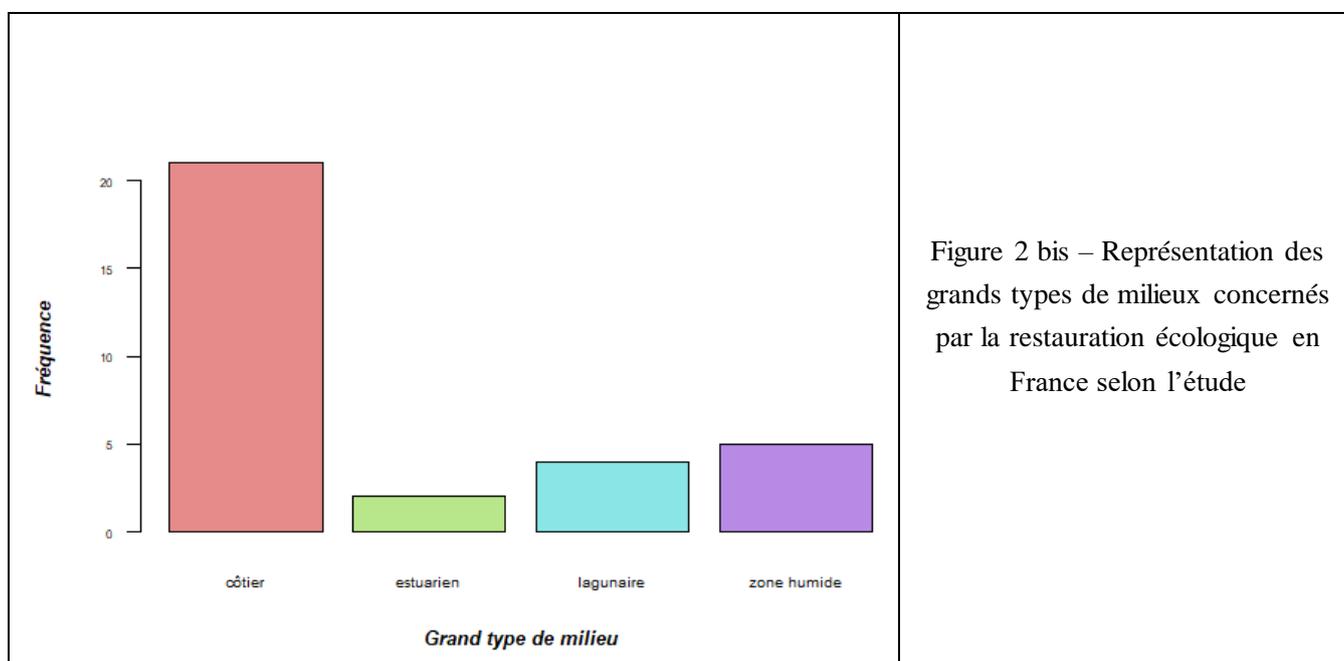


Figure 2 bis – Représentation des grands types de milieux concernés par la restauration écologique en France selon l'étude

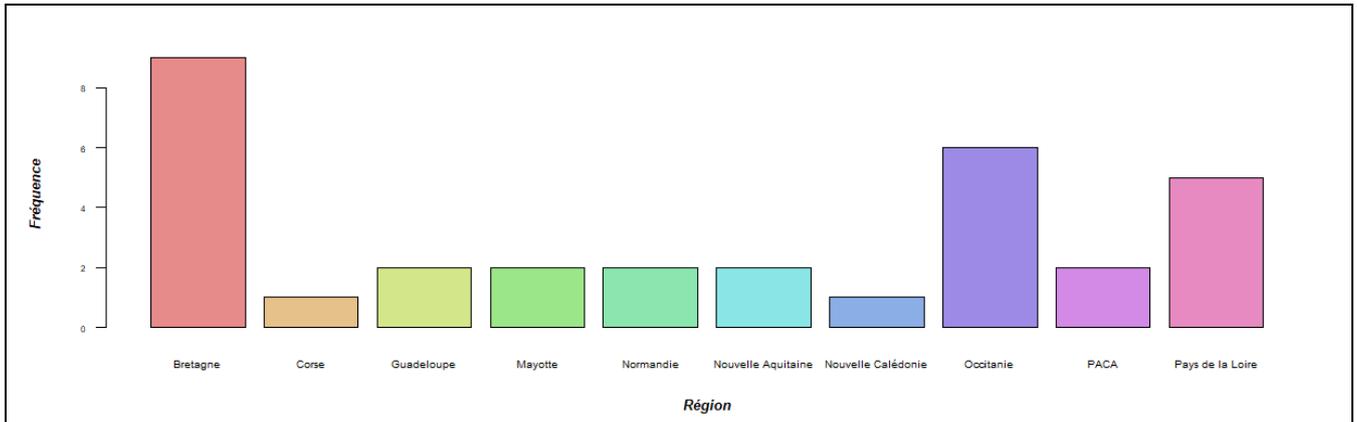


Figure 3 bis - Nombre d'opération de restauration écologiques mises en œuvre par région en France d'après l'étude

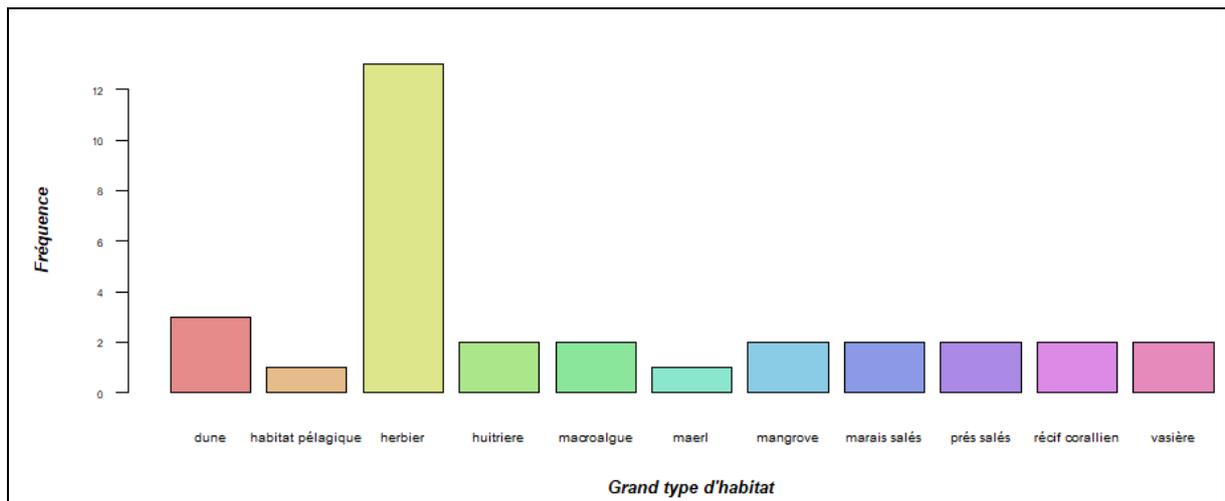


Figure 4 bis – Représentation des grands types d'habitats concernés par la RE en France d'après l'étude

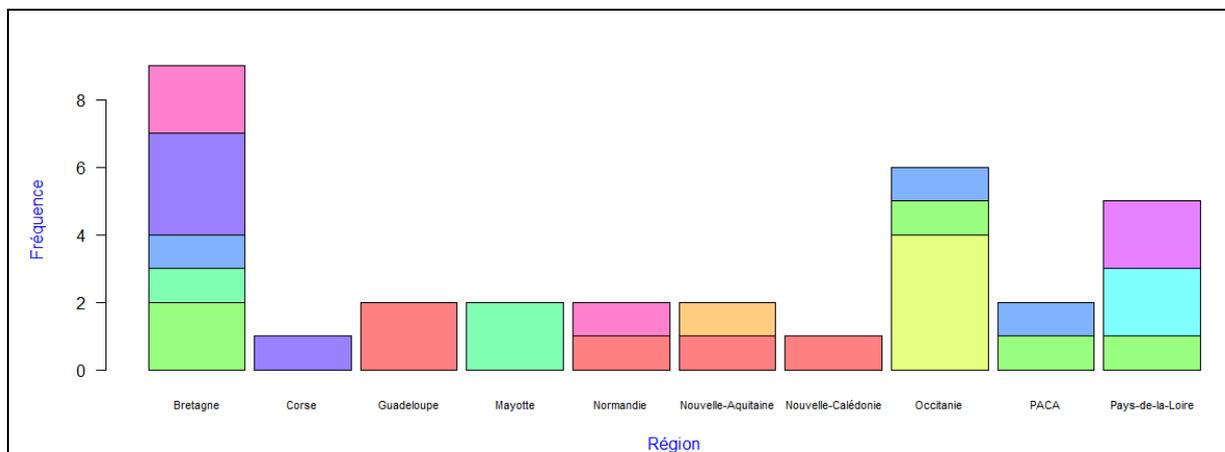


Figure 5 bis – Représentation des pressions anthropiques menant le plus fréquemment à une opération de RE dans chaque région, selon l'étude

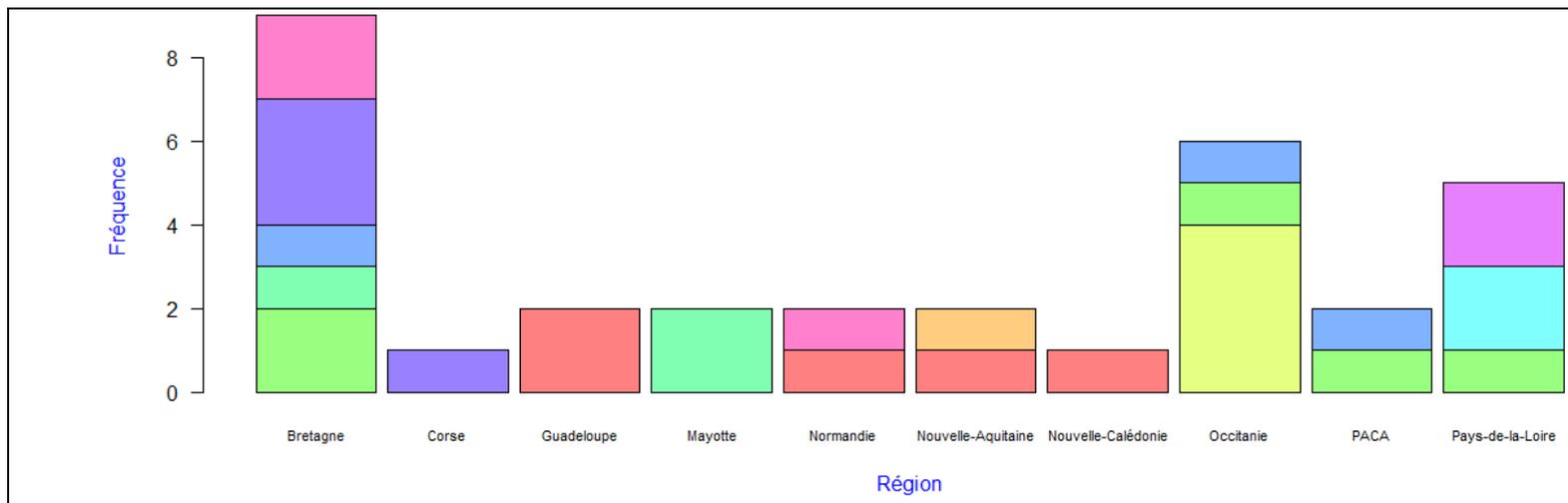


Figure 6 bis – Représentation des pressions anthropiques menant le plus souvent à une opération de RE dans chaque région, selon l'étude

- prélèvement
- piétinement
- mouillage
- macrodéchets
- exploitation
- érosion
- Espèces exotiques invasives
- contaminants
- climatique (anthropique indirecte)
- aménagement

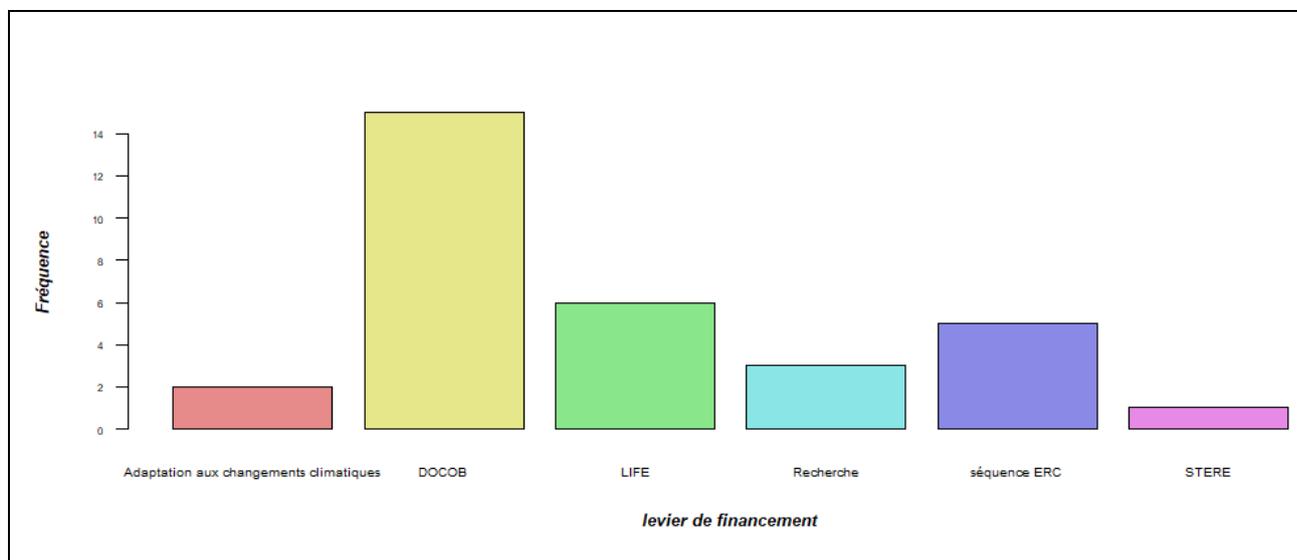


Figure 7 bis – Principaux leviers de financements des opérations de restauration écologique en France d'après l'étude

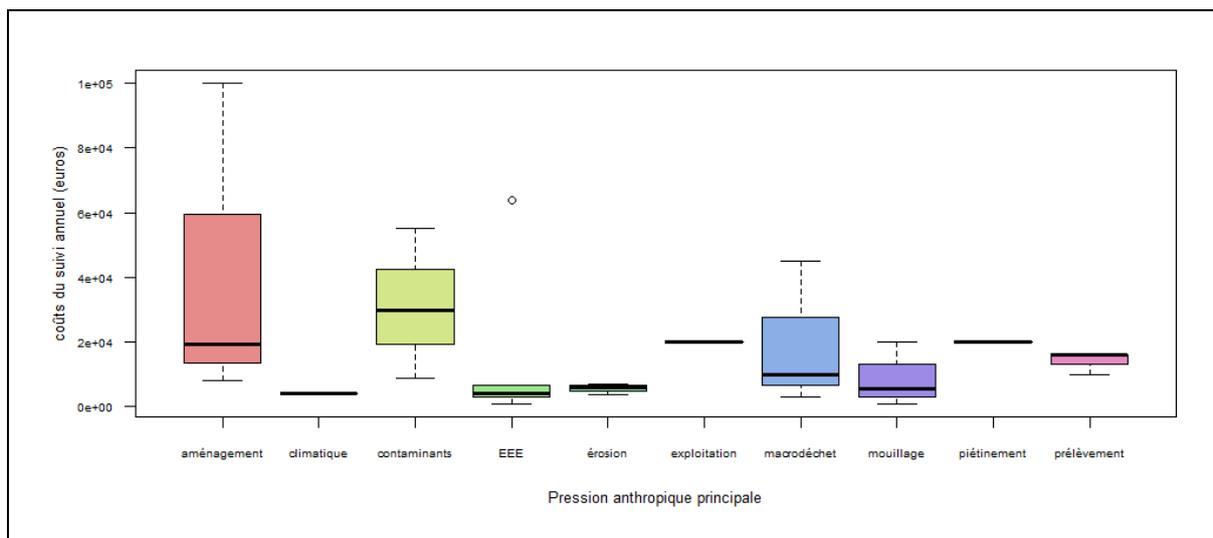
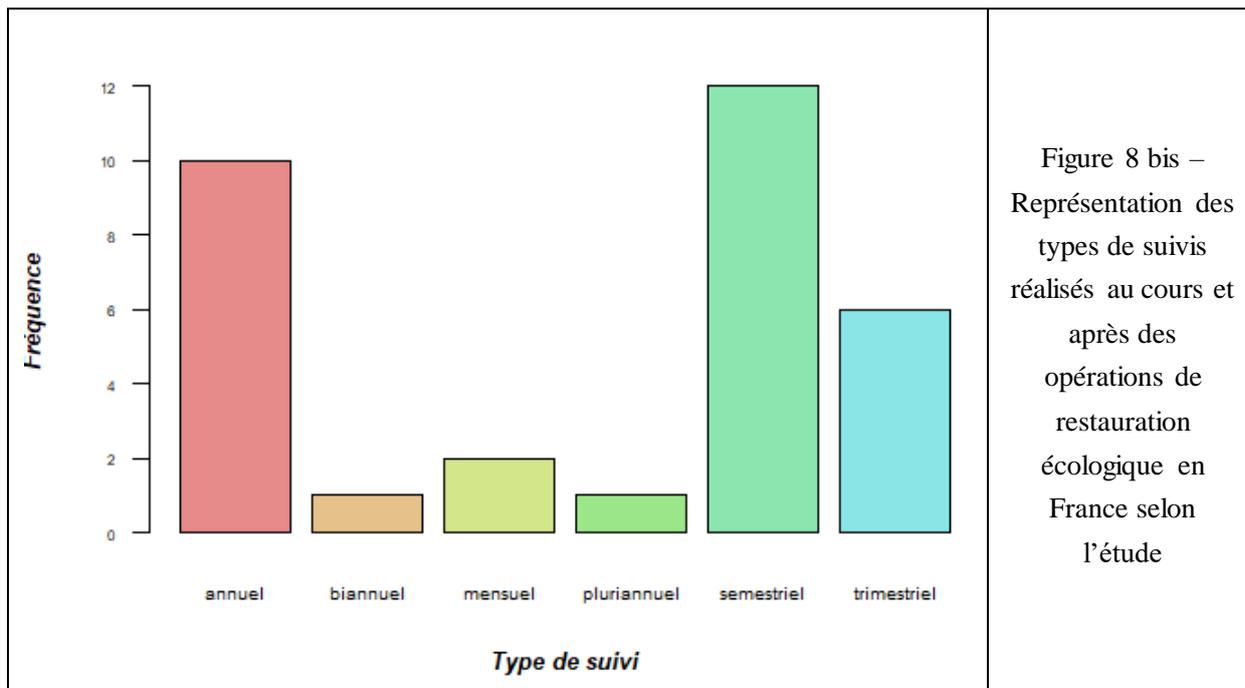


Figure 9 bis- Représentation des coûts de suivi annuel des projets de RE (euros) en fonction du type de pression anthropiques principale à l'origine de la dégradation de l'habitat selon l'étude

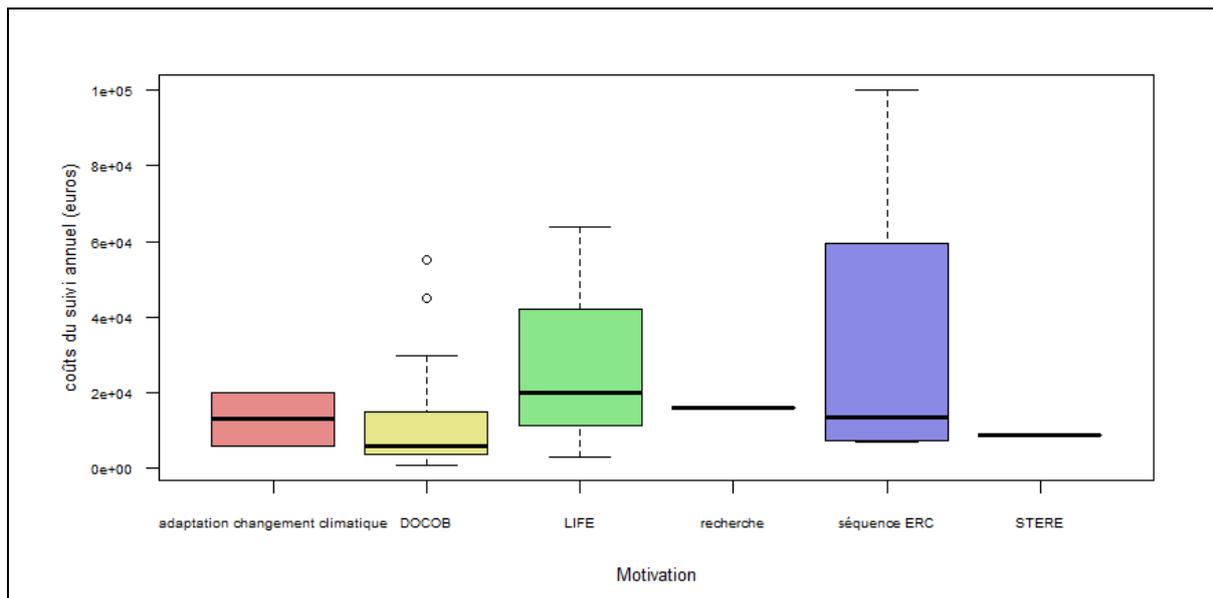


Figure 10 bis – Représentation des coûts de suivi annuel des projets de RE (euros) en fonction de la motivation du projet, selon l'étude

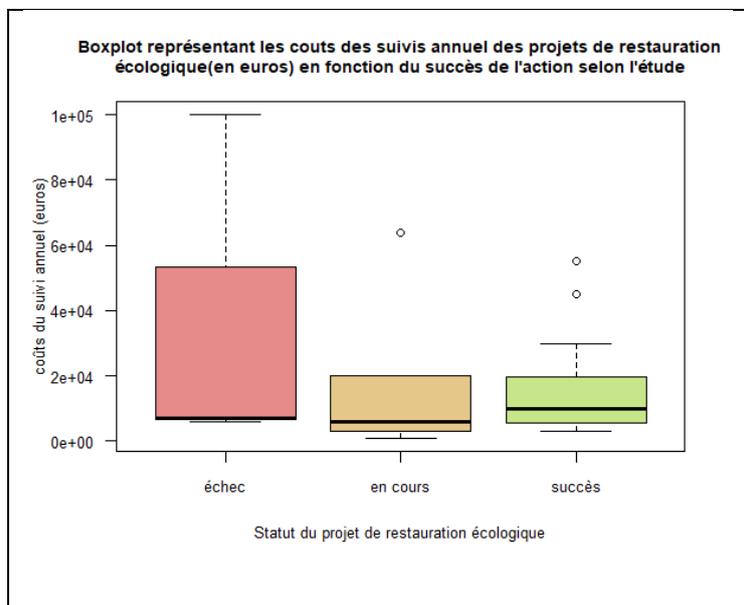


Figure 11 bis – Représentation des coûts de suivi annuel des projets de restauration écologique (euros) en fonction du succès de l'action selon l'étude

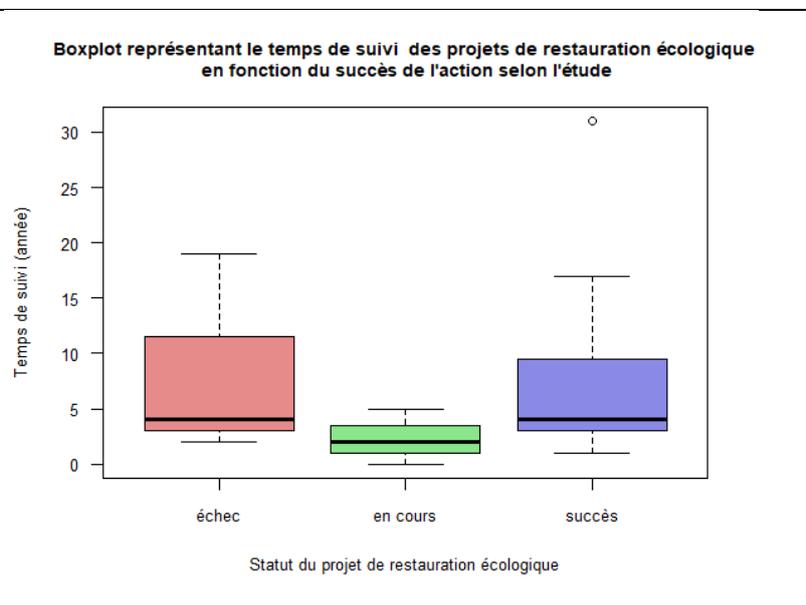


Figure 12 bis - Représentation du temps de suivi des projets de RE en fonction du succès de l'action selon l'étude

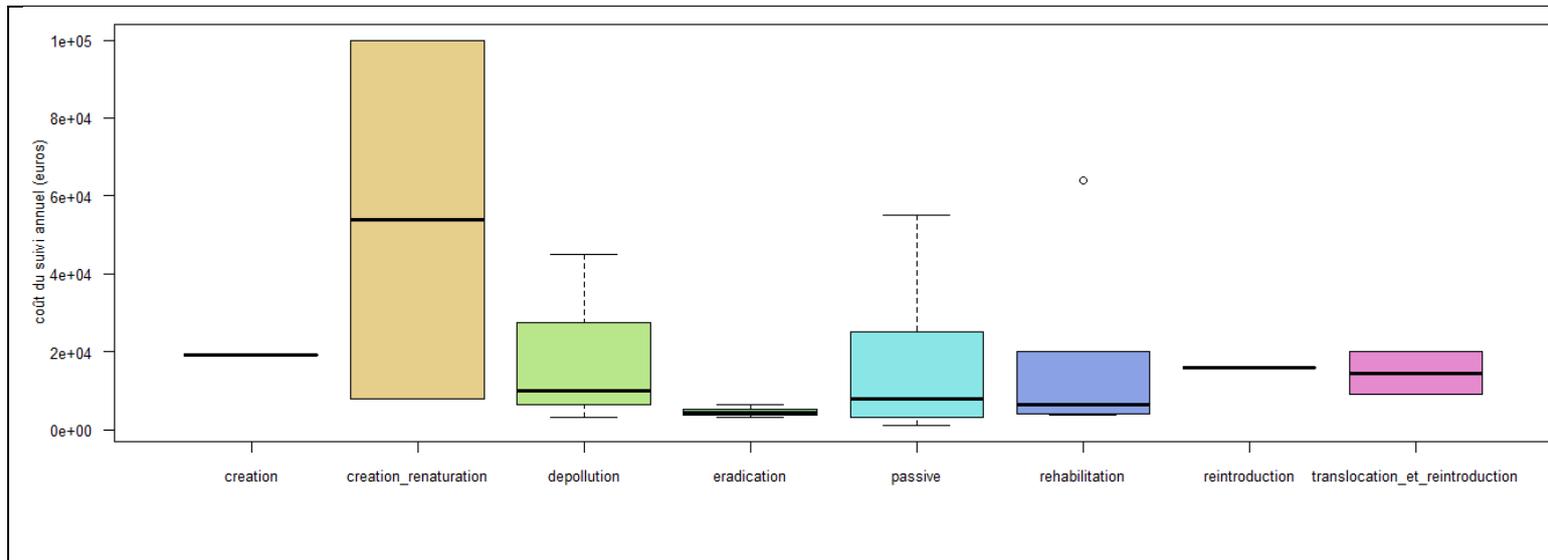
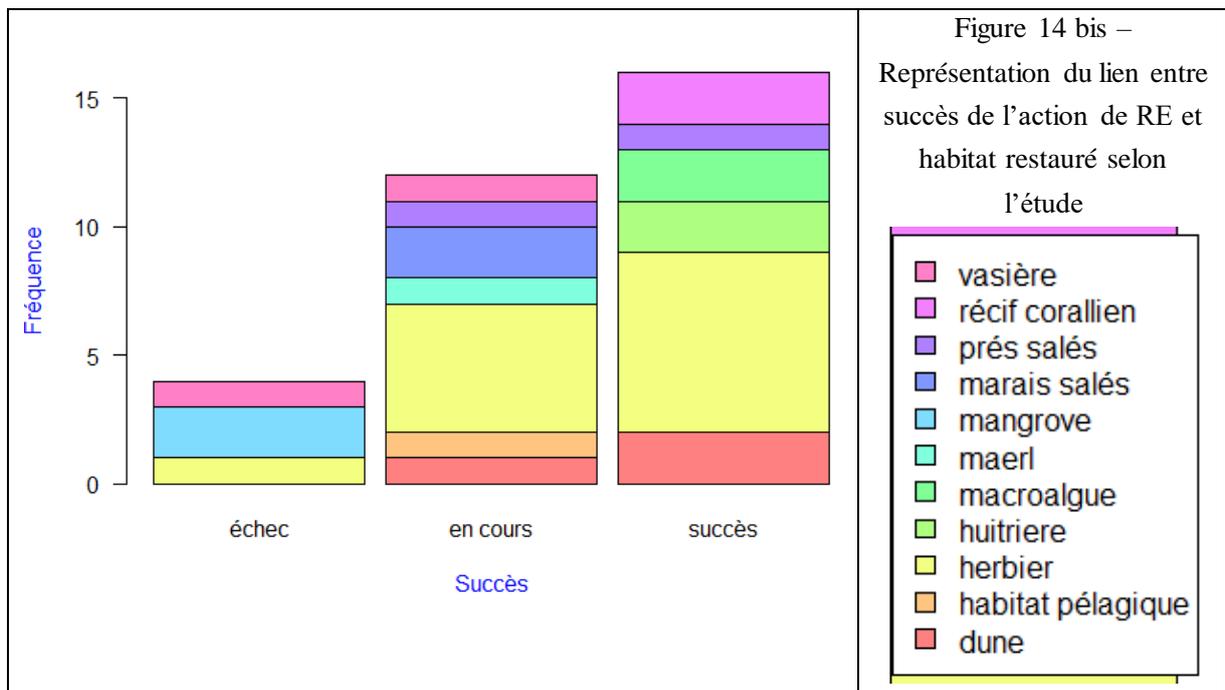


Figure 13 bis – Représentation du coût annuel de suivi en fonction du type de RE employé, en France selon l'étude.



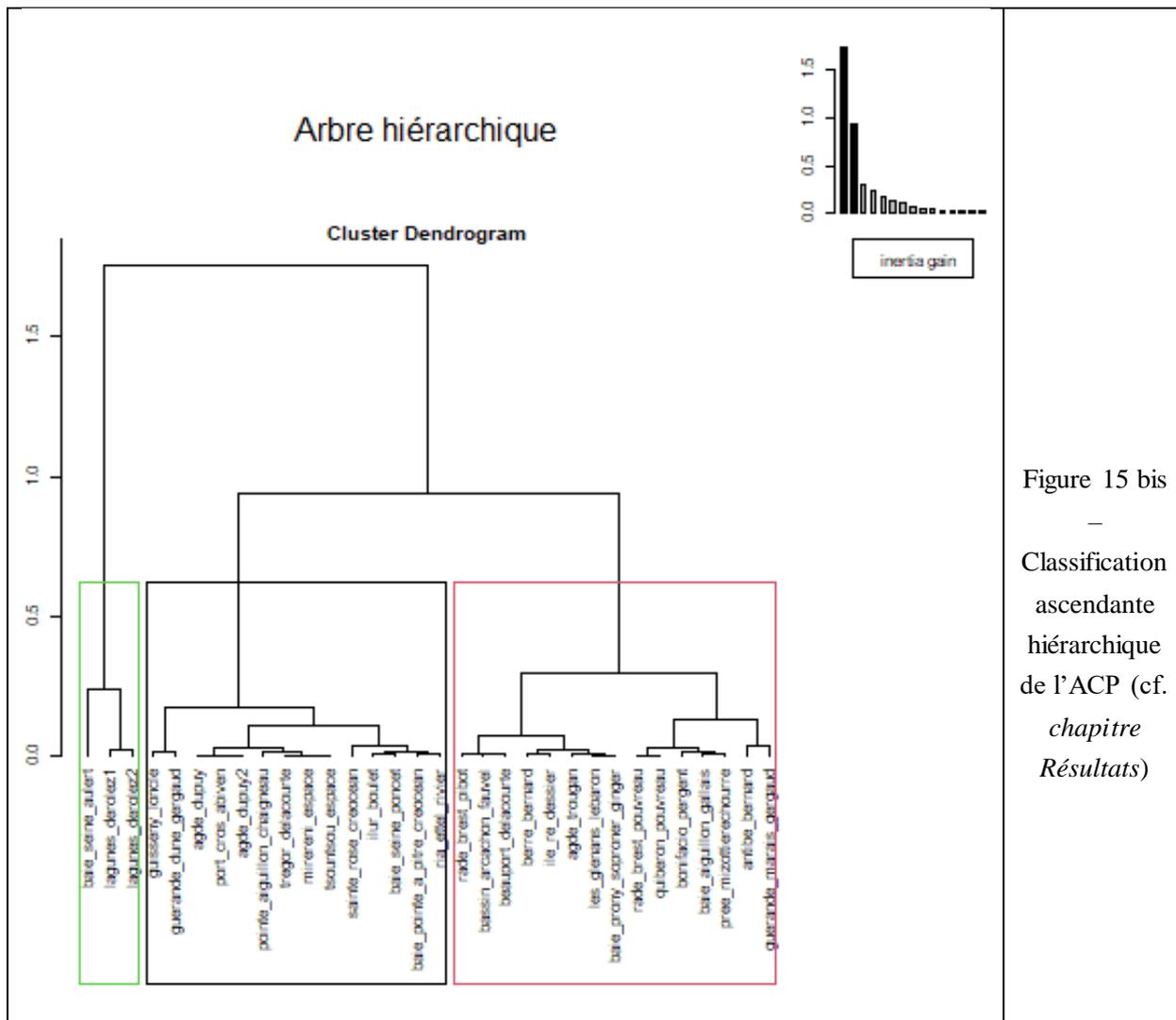


Figure 15 bis
 –
 Classification ascendante hiérarchique de l'ACP (cf. chapitre Résultats)

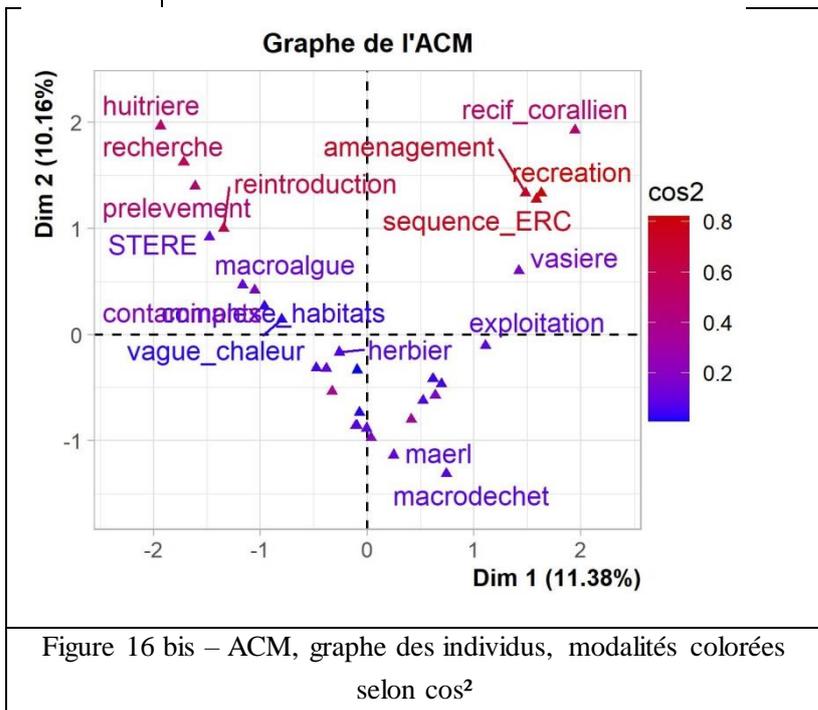


Figure 16 bis – ACM, graphe des individus, modalités colorées selon \cos^2

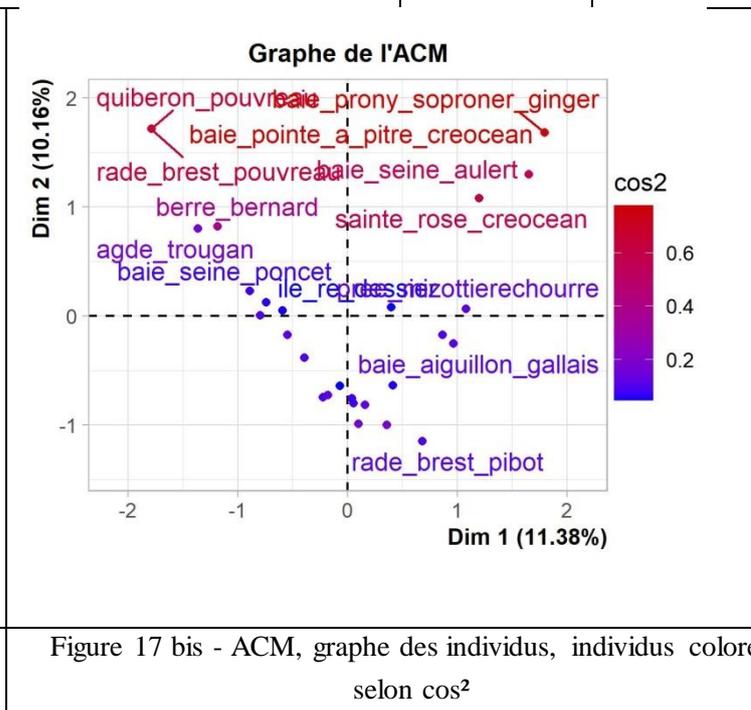
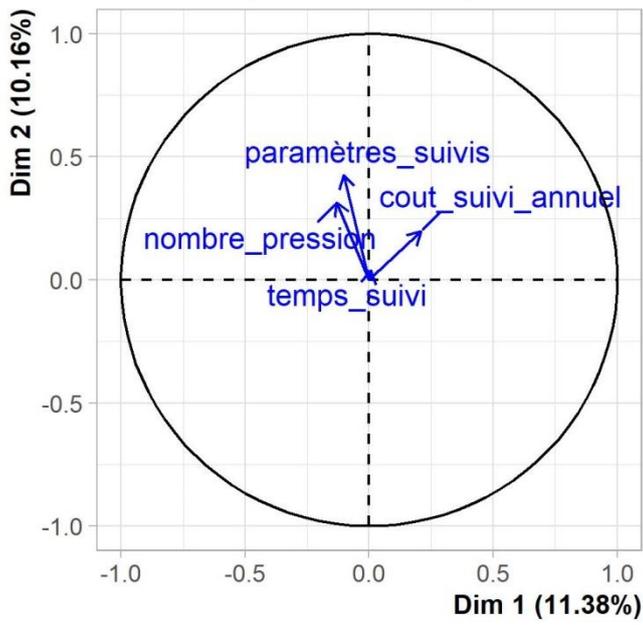


Figure 17 bis - ACM, graphe des individus, individus colorés selon \cos^2

Variables quantitatives supplémentaires



Graphe des variables

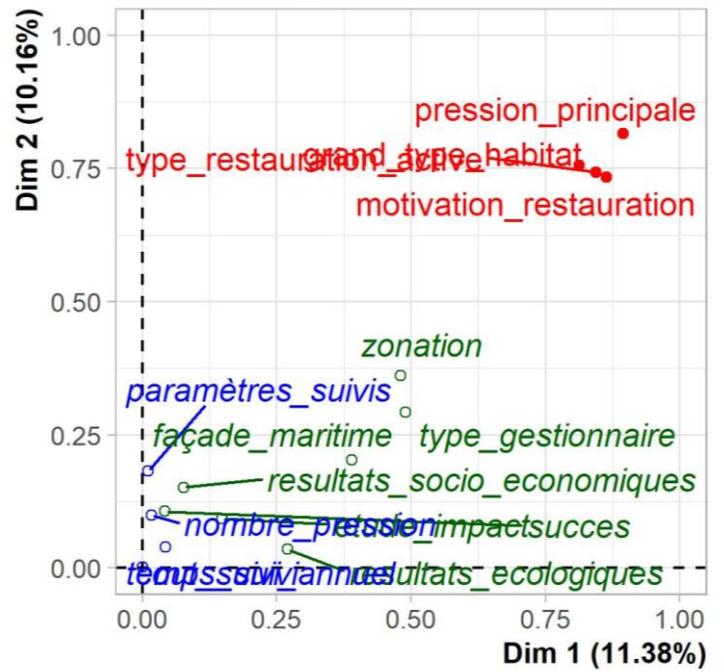


Figure 18 bis - ACM, cercle des corrélations

Figure 19 bis – ACM, Graphe des variables (bleues = var. quantitatives, rouge = var. qualitatives, vert = var. qualitatives supplémentaires)

Arbre hiérarchique sur le plan factoriel

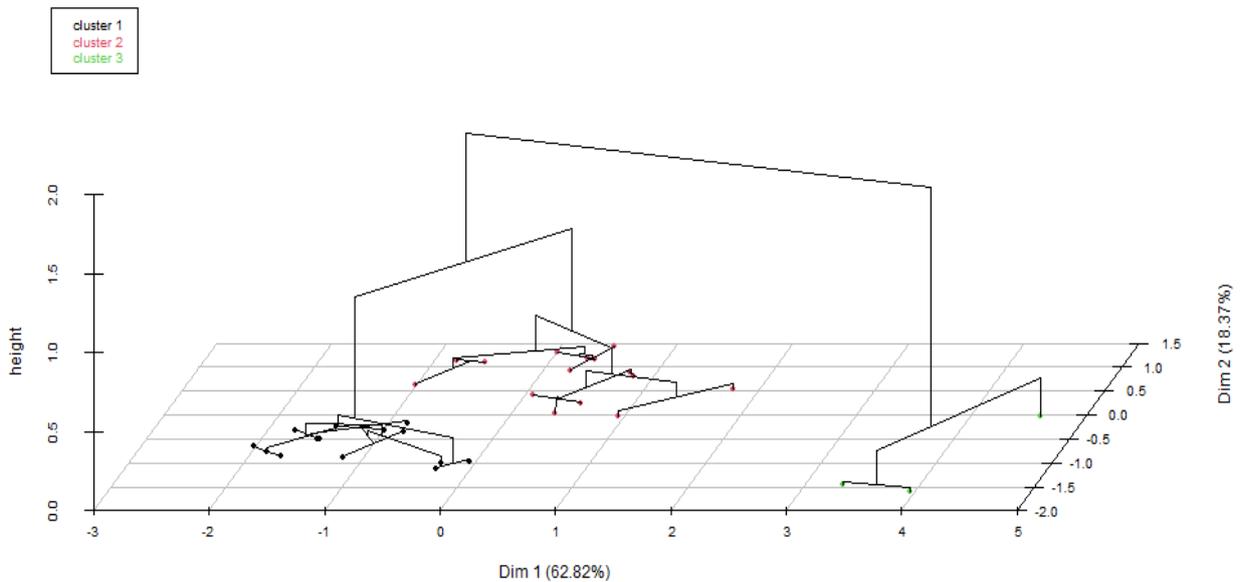
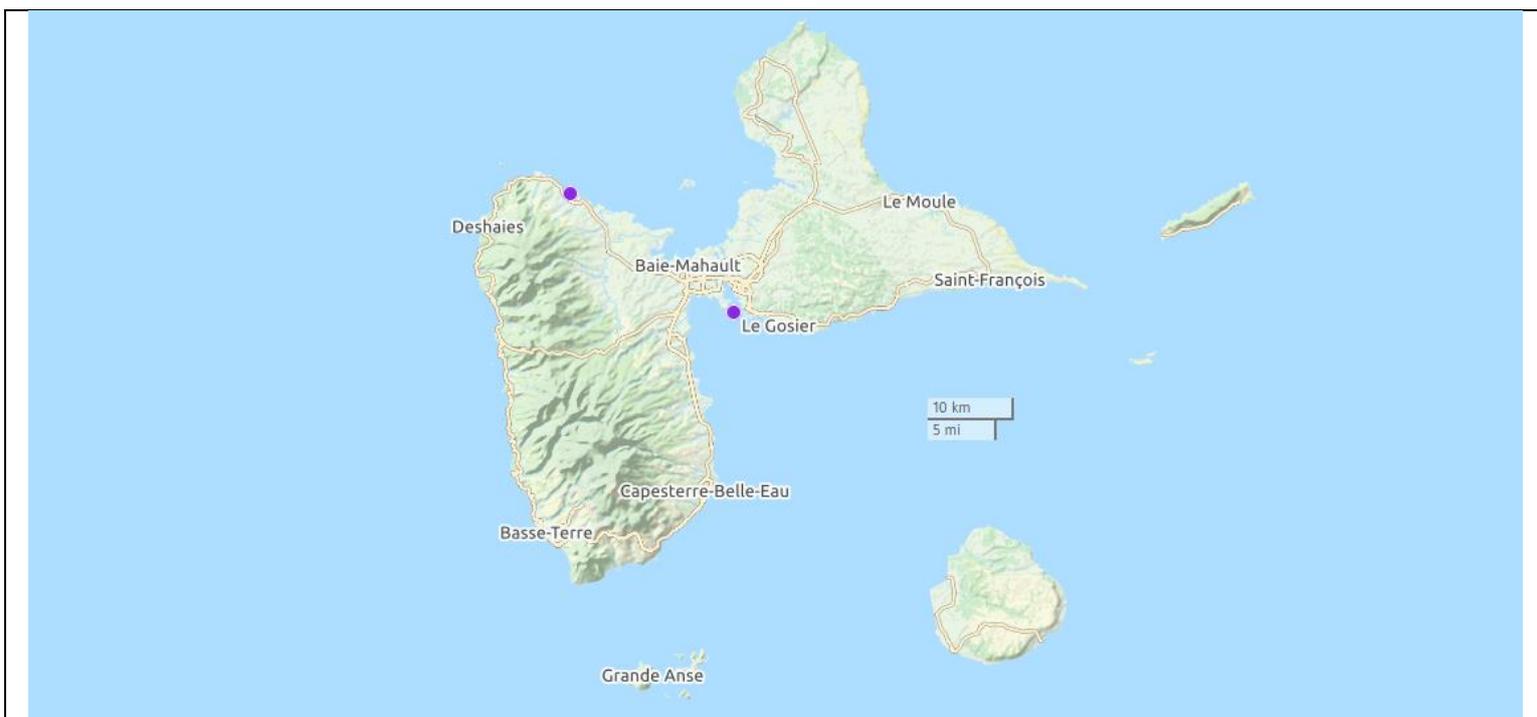
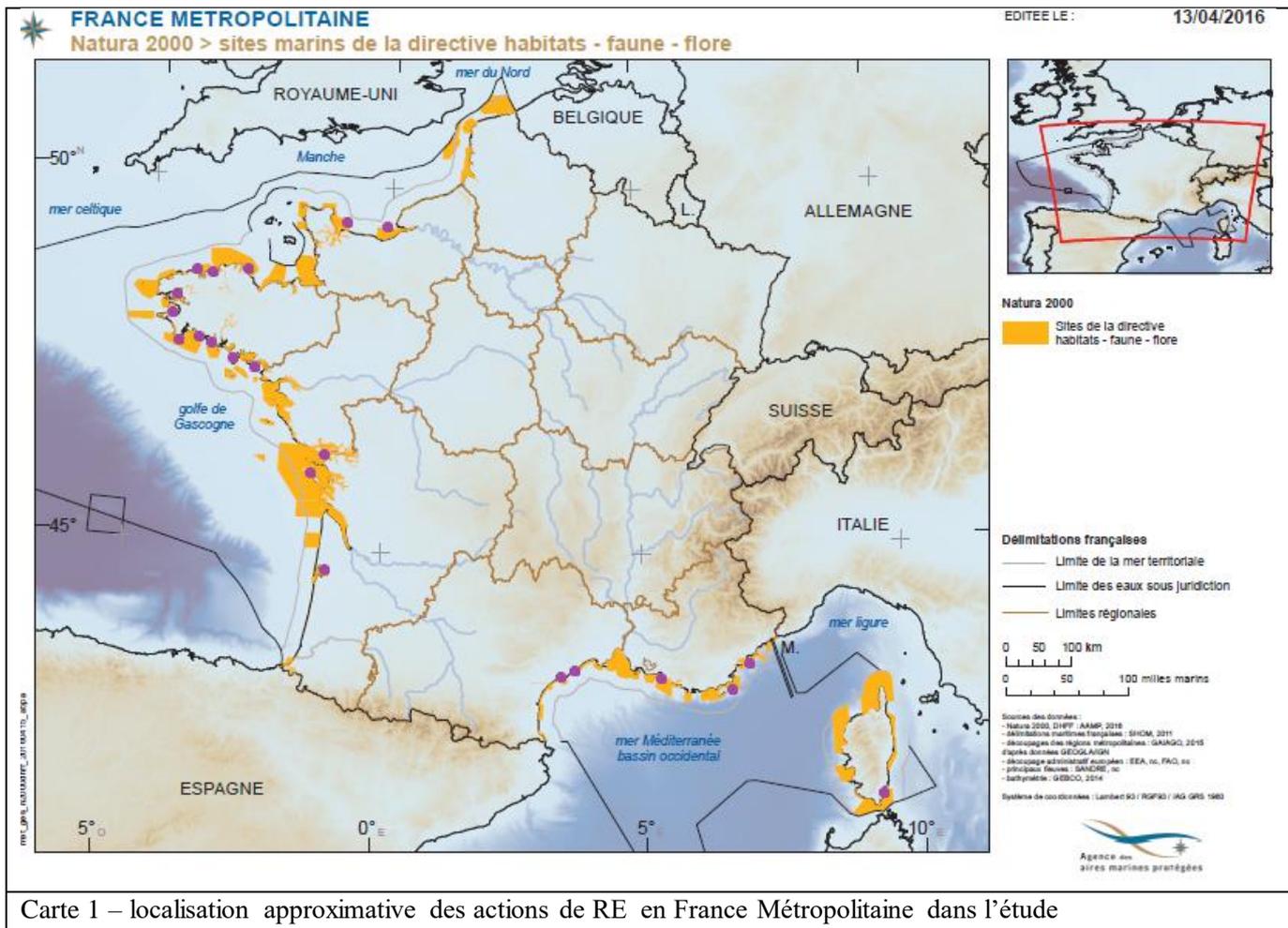
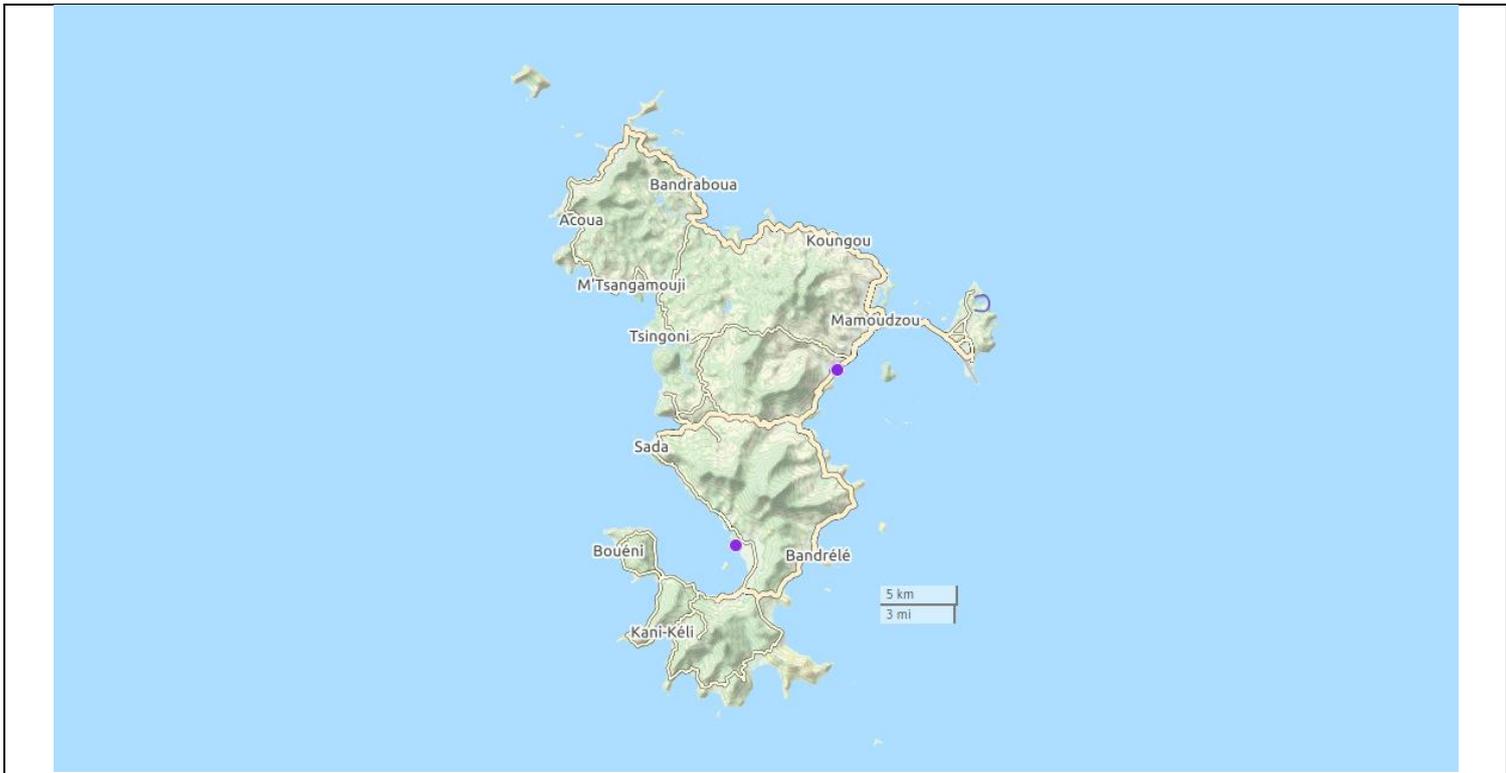


Figure 20 bis – ACP : représentation tridimensionnelle de la CAH sur le plan factoriel





Carte 3 – localisation approximative des actions de RE à Mayotte dans l'étude



Carte 4 – localisation approximative des actions de RE en Nouvelle-Calédonie dans l'étude

Office Français de la Biodiversité – Services Centraux Pôle Brest
DRAS – SME
Espace Bernard Giraudeau
Quai Eric Tabarly

Résumé

Ce travail s'articule autour de la volonté de rétablir le "bon état écologique" des écosystèmes littoraux et marins (au sens DCE, DCSMM, N2000 habitats et oiseaux,...). Pour cela, la réalisation d'un processus de mise en place d'une plateforme de retour d'expérience a été nécessaire. Ces Retours d'expériences s'intéressent aux projets de restauration écologique des milieux littoraux et marins.

La mise en place de cette plateforme est nécessaire, et les premières briques sont la réalisation d'un état de l'art des pratiques en France Métropolitaine et d'Outre-Mer, avec une prise de contact d'acteurs divers pour réaliser une cartographie des actions, mais aussi de caractériser celles-ci. A terme, ces retours d'expérience permettent de croiser différents types de données (synthèse bibliographique + RETEX + Données orales). Les données RETEX « brutes » ont permis d'utiliser le logiciel R afin de « jouer » avec les données ainsi obtenues, au regard des témoignages récoltés, pour essayer de comparer cet état à un instant t à la littérature internationale (et donc aux attendus), et de comprendre les motivations et mécanismes de la restauration écologiques des milieux littoraux et marins en France, pour espérer proposer des pistes pour lever les verrous et freins inhérents à cette thématique complexe.

DOCUMENT
CREATED
WITH



PDF
COMBINER

PDF Combiner is a free application that you can use to combine multiple PDF documents into one.

Three simple steps are needed to merge several PDF documents. First, we must add files to the program. This can be done using the Add files button or by dragging files to the list via the Drag and Drop mechanism. Then you need to adjust the order of files if list order is not suitable. The last step is joining files. To do this, click button Combine PDFs.

Main features:

secure PDF merging - everything is done on your computer and documents are not sent anywhere

simplicity - you need to follow three steps to merge documents

possibility to rearrange document - change the order of merged documents and page selection

reliability - application is not modifying a content of merged documents.

Visit the homepage to download the application:

www.jankowskimichal.pl/pdf-combiner

To remove this page from your document, please donate a project.